هـــذا

هو الجزء الثانى من كتاب كشف رموز السر المصون * فى تطبيق
الهندسة على الفنون * ابرزه من الفرنساوية الى العربية
راجى رحمة المعيد المبدى * الفقير لمولاه السيد
صالح افندى * غفر الله ذنوبه وستر
فى الدارين عيوبه
امين

فهرسة الجزء الثانى من كتاب كشف رموز السر المصون
فى تطبيق الهندسة على الفنون

الدرس

صحيفه

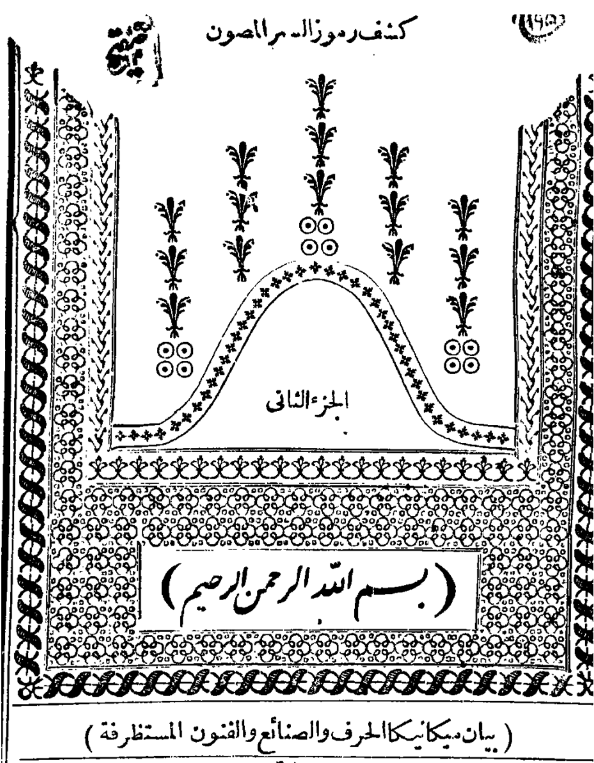
صحيفه

بيان ما وقع من الخطا والصواب فى الجزء الثانى من كتاب كشف رموز السر المصون فى تطبيق الهندسة على الفنون

خطا	صواب	صحيفه	سطر
اقيسة الاتساع	المكاييل	٨	١
اوالاتساع	اوالمكاييل	٨	٢
اقيسة السعة	المكاييل	١٣	١٤
ومواد التجارة	وآلات التجارة	١٣	٢٣
عتتها	اعتتها	١٣	٢٤
وا ے	وا ا	٣٣	١٧
ا ے	ا ا	٣٣	١٨
ا ے	ا ا	٣٣	١٩
ا ے	ا ا	٣٣	٢٤
كية القوى	مقادير القوى	٥٨	١٣
متألفا	متألف	٦٠	١٠
ع	غ	٧٢	١٣
جلافطة	صناع	٧٣	٧
١/٢	١/٤	٧٥	٣
ع غ	غ غ	٧٥	٩
ع غ	ع غ	٧٥	١١
ب ص	ب ض	٨١	٦
ك ص	ك ض	٨١	٧
عند مركز	عن مركز	٨١	١٠
م ص	م ض	٩٨	١٥
و ح ح	و ح خ	٩٨	١٧
اذا انزلنا	اذا نزلنا	٩٩	٥

خطا	صواب	صحيفه	سطر
اى المنجنيق	اى المنجنون (وهكذا كلما جاء فى هذا الجزء منجنيق فصوابه منجنون)	١٠٣	١٢
بالنظريات	بالنظويات	١٠٣	١٨
ثَ صہ زصہ	ثَ صہَ زَصہ	١٠٨	٥
اسہ	اصہ	١٠٩	١٤
ف ص	ف صً	١٣٥	١٦
و غ م	و غ مَ	١٣٨	١٦
فتكون م التى هى كمية التحرك	فتكون كمية تحرك م	١٤٢	٢
من نقطة ل	من نقطة د	١٦٤	٢١
على لسان	على حالة	١٦٦	١٩ و ٢٠
لقوة س	لقوة سہ	١٧١	٢١
وهو ر	وهو لَ	١٧٤	٩
×ل	×لَ	١٧٤	١٨
س×لً	سَ×لً	١٧٤	١٩
خ خ	خ خَ	١٧٨	٢
ح×/ح الخ	خ×/خ الخ	١٨٤	٤
٢الخ	×الخ	١٨٥	٩
(ث+	(ثا+	٢٠٢	٩
ونقطة	ونقط	٢٠٤	١٢
من ثقل	من مركز ثقل	٢٠٤	٢٣
مركبة	مركبة (شكل ٤)	٢٠٥	٢٠

خطا	صواب	صحيفه	سطر
العيار	العيار(شكل٦)	٢٠٦	١٦
يجبره	ويجبره	٢١١	٣
كالقرص	كالدولاب	٢١٤	٦ و٨ و١٥
اب اب	اـاب	٢١٥	٤
=رٌ	=رً	٢١٥	١٦
×رٌ	×رً	٢١٥	١٧
ح ع	ح غ	٢٢٢	٦
وذوات	وذات	٢٢٣	٢٥
م ب	م ن	٢٢٥	١٣
الرياح الطيبة	المصاريف	٢٣٥	٢
طاقات	حالات	٢٣٦	٨
ف=	فَ=	٢٥١	١٧
ح	خ	٢٥٧	١٩
من اطرافيهما	من اطرافهما	٢٦٧	٦
استبدلوا	فاستبدلوا	٢٦٨	٢٣
رمانة القبان	القبان	٢٧٣	٢٢
√٢٠٠٠٠	√٢٠٠٠٠ :: ١٠٠ ١٤٢:	٢٧٤	١٥
١٩٦:١٠٠ الخ	١٦:١٠٠٠ الخ	٢٨٤	٦ و٧
فكى الكماشة	فكى المنجنة	٢٨٨	١٤



(بيان ميكانيكا الحرف والصنائع والفنون المستظرفة)

(الدرس الاول)

(فى ذكر مجموع الاقيسة المستعملة فى الفنون الميكانيكية على العموم)

اعلم ان خواص الاجسام المادية قابلة للقياس وبقياسها يحدث فى علم الحساب طريقة تقويم النسب الموجودة بين الخواص المتماثلة والدرجات المتنوعة من كل خاصية

ثم ان البحث عن طرق تحصيل قياس هذه الخواص من موضوعات علم الطبيعة الاصلية وكلما ظهر فرع جديد من هذا العلم يلزم ايجاد اقيسة للنسب الجديدة التى تظهر منه وكل من هذه الاقيسة يوصل عادة الى معارف لا يمكن اكتسابها بدون العلم المذكور

ونقتصر الآن على معرفة الاقيسة التى لابد منها فى علم الميكانيكا واما الاقيسة الاصلية التى لا فائدة لها الا فى بعض فروع من هذا العلم وفى بعض فنون فسنبينها مرتبة عند الكلام على المواد الاصلية المتعلقة بها

(بيان الاقيسة الهندسية)

تطلق الاقيسة الهندسية على اقيسة الامتداد وهى المسافات والسطوح والجوم وتستعمل تلك الاقيسة فى علم الميكانيكا لاجل قياس المسافات المشغولة والمقطوعة بالنقط والخطوط والسطوح والاجسام

(بيان اقيسة الطول)

اتفقوا على انه يمكن اخذ جزء من خط مستقيم كثير الامتداد اوقليله وجعله وحدة للطول وانه يمكن ايضا تغيير هذه الوحدة على حسب الازمنة والامكنة والاحتياجات والاحوال ومن ثم ترى الفرنساوية والنمساوية والايطاليين والانكليز واغلب الملل يستعملون لقياس الاطوال وحدة مختلفة بل ترى فى الغالب الامة الواحدة تستعمل فى اقاليمها المتسعة اقيسة للطول غير متماثلة بالكلية

ومثل هذا الاختلاف ينشا عنه خطأ كبير فى عمليات الفنون والتجارة ومابه مخالطة الاهالى وارتباط بعضهم ببعض وبواسطته يلزم معرفة نسبة الآحاد المتضادة المعدّة لقياس الاشياء المتجانسة معرفة صحيحة تامة فاذا اردنا عمل مايلزم من الحسابات للاشغال الميكانيكية والنقل والبيع والشراء يلزم تحويل الارقام لاجل معرفة المقدار الحقيقى للابعاد والاسعار .

وبقطع النظر عما يترتب على هذا التحويل من ضياع الزمن يوجد فى وسايط التحويل المذكور نقص يغش به من ليس معه زمن كاف اولا قدرة له على فهم مثل تلك الحسابات المشكلة التى لم تزل آخذة فى الزيادة فاذن يجب على كل مملكة أن لاتستعمل فى جميع اراضيها الانوعا واحدا من الاقيسة

واذا امعنت النظر رأيت ايضا انه يلزم ذلك لجميع الناس لاسيما الامة المتمدنة نظرا لمخالطاتهم الاهلية

والثانية تساوى ديكامترا

والثالثة تساوى دسمترا

والرابعة تساوى مليمترا

فعلى ذلك ليست جميع الاقيسة المستعملة فى طرق فرانسا وسككها
وفى الاشغال الهيئة الانوعا واحدا من ابتداء مليمتر بسيط الى الدورة الكاملة
من الارض كماسبق موضحا فى الدرس الثالث من الهندسة الذى تكلمنا فيه
على الدائرة

وبذلك يظهر لك ما يترتب على هذه المطابقات العظيمة من مزيد الاختصار
فى كثير من عمليات الملاحة و الطبوغرافيا اى رسم الارض او الجغرافيا
الممزوجة بارصاد فلكية

واعظم فوائد طريقة الاقيسة الجديدة هى سهولة جميع عمليات الحساب
على ممارسها اذ بها يمكنه ان يصنع اى طول من الميريامتر او الكيلومتر اومن
الاكتومتر او الديكامتر او المتر على وجه بحيث يضع من الشمال
الى اليمين جميع تلك الاعداد بعضها عقب بعض كالآحاد والعشرات والمآت
من عدد واحد

فعلى ذلك اذا كانت هذه الاسماء المأخوذة من اللغة اليونانية تشوش الذهن
و يعسر حفظها و تعليقها فانه يمكن عدم الالتفات اليها بالكلية و اراحة
الذهن منها وترك التلفظ بها والاتيان بدلها بعشرات المتر ومآته وهلم جرا
لان ذلك لايغير شيأ من الطريقة السابقة

ثم ان كسور المتر وهى الدسمتر والسنتمتر والمليمتر الخ تكتب كالكسور
الاعشارية على يمين الامتار وتجرى عملياتها مع السهولة كعمليات الاعداد
الصحيحة (الا انه يوضع بينها و بين الصحيحة شرطة تفصلها منها مثلا ٤ و ٥م
يعنى خمسة امتار واربعة اعشار من متر)

ومن المعلوم ان كثيرا من الناس استعملوا غير مرة الاقيسة القديمة ولم يزالوا

يستعملونها

يستعملونها الى الآن مع انهم يعرفون ان تقسيم هذه الطريقة الخالى عن الانتظام يشوّش الذهن ويوقع الانسان فى الحيرة والسآمة وهو مع ذلك عرضة للوقوع فى الخطا فان التواز الذى قدره ستة اقدام والقدم الذى قدره اثنا عشر قيراطا والقيراط الذى قدره اثنا عشر خطا والخط الذى قدره اثنا عشر نقطة يتكوّن منها تقسيمات ثانوية لاتطابق بالكلية ترتيب اعداد الحسابات الاعشارية وهذه التقسيمات الثانوية المعروفة بالاجزاء الضلعية تستدعى عمليات صعبة يفزع منها الاطفال لصعوبتها وكانت تستغرق فى تعليمها عدّة سنوات لتكاسل مدرسيها بخلافها الآن فانه يمكن تعليمها للاطفال من ابتداء صغرهم فى قليل من الزمن بحيث يمكنهم تطبيقها على الاقيسة الجديدة

وفوائد هذه الطريقة الجديدة توجد بعينها فى انواع الاقيسة التى سنذكرها وقد كان يظهر ان هذه الطريقة يجب أن تنشر وتستعمل عند جميع الامم اوعند الامة الفرنساوية خاصة لما انها تعتبرها كالآثار الملية الاان الاوهام الفاسدة ومايعرض من الصعوبات الوقتية منعت من ذلك مدّة مديدة

ثم ان المتر اصل لما عداه من اقيسة الطول الاخرى كما سبقت الاشارة اليه وهو ايضا اصل لسائر اقيسة السطوح والجوم والاثقال وغير ذلك

(بيان اقيسة السطوح)

اعلم ان الوحدة الاصلية لهذه الاقيسة هى المتر المربع

والآر هو المربع الذى طوله عشرة امتار وعرضه كذلك فهو كناية عن عشرة صفوف مركبة من عشرة امتار مربعة او مائة متر مربع (كما هو مقرر فى الدرس الرابع من الهندسة)

والاكتار هو المربع الذى طوله عشرة آرات وعرضه كذلك فهو عبارة عن عشرة صفوف مركبة من عشرة آرات مربعة اومائة آر مربع ويستعمله الفرنساوية بدلا عن الفدان القديم كما انهم يستعملون الآر عوضا عن القصبة القديمة

(بيان اقيسة الاتساع)

المتر المكعب المسمى بالاستير هو وحدة الجوم او الاتساع فالمكعب الذى يبلغ دسمترا واحدا من جميع جهاته اى الذى قدره دسمتر مكعب هو جزء من الف من المتر المكعب

ولاجل سهولة عمليات التجارة والفنون الميكانيكية صنعوا اوانى يبلغ داخلها دسمترا مكعبا وسموها لترا واستعملوها فى قياس الموائع والجوامد من حبوب وتراب وغيرهما

واما الاكتولتر فهو وعاء اكبر من اللتر مائة مرة او يحتوى على مائة لتر* والاكتومتر هو قياس مائة متر

وبالنظر الى الكميات الصغيرة ينقسم اللتر الى عشرة دسلترات او الى مائة سنتلتر او الف مليلتر الخ كما ان المتر يحتوى على عشرة دسمترات او مائة سنتمتر او الف ملمتر

ثم ان ما يوجد من المشابهة التامة بين هذه التقسيمات الثانوية للاقيسة المتنوعة واسماءها مقبول وملايم لما يقتضيه العقل وبه يسهل على كل انسان تذكر هذه الاسماء بمدلولاتها

ولا مانع من تسمية الاقيسة الثلاثة التى بيناها قريبا بالاقيسة الهندسية حيث انها تكفى فى قياس جميع ما تبحث عنه الهندسة المحضة غير انه يلزم ان يضم اليها اقيسة اخرى تحتاجها العلوم والفنون الميكانيكية

(بيان اقيسة الميكانيكا وهى الاثقال)

لجميع اجسام الارض ميل الى القرب من مركزها فلولا المانع لقربت منه بان تسقط عليه ثم ان الثقل هو القوة الكلية التى يميل بها الجسم الساكن الى السقوط على وجه الارض

فعلى هذا يكون للجسمين ثقل واحد اذا كانت قوتهما التى يميلان بها الى السقوط جهة مركز الارض متساوية

ويمكن مماثلة ثقل الاجسام وتقويمه بواسطة الآلات التى سيأتى بيانها وبواسطة تلك الآلات يعرف هل للجسمين ثقل واحد ام لا

فالغرام

فالغرام هو وحدة القياس الذى ينسب اليه ثقل جميع الاجسام
والديكغرام هو ١٠ غرامات
والاكتوغرام هو ١٠٠ غرام
والكيلوغرام هو ١٠٠٠ غرام
والمرياغرام هو ١٠٠٠٠ غرام
وهذه الاسماء من قبيل الكلمات المركبة الاصطلاحية المستعملة فى الاقيسة العظيمة كالمتر والليتر وغيرهما فان كلا منهما مركب
ويستعمل الكيلوغرام فى وزن الاجسام التى يكون ثقلها مماثلا لثقل الاشياء التى يمكن استعمالها بسهولة والقنطار المترى هو ١٠٠ كيلوغرام وما يعرف عند الملاحين بالتنو (اى البرميل) هو ١٠٠٠ كيلوغرام
واما الغرام و تقسيماته الثانوية فيستعمل فى وزن الاشياء الصغيرة كمواد الصياغة والكيميا والاجزاخانه وغير ذلك و ينقسم الى عشرة دسغرامات ومائة سنتغرام والف ملغرام
ولاجل تطبيق صنج الاثقال على اقيسة الابعاد جعلوا مقدار الكيلوغرام ثقل دسمتر واحد مكعب او لتر من المياه الصافية الا ثلة الى كثافتها العظمى بواسطة هبوط درجة حرارتها على وجه لائق
فعلى ذلك اذا كان لا يوجد فى سائر بقاع الارض الا متر واحد او لتر واحد او استير واحد او كيلوغرام. واحد فانه يمكن ايجاد جميع انواع الاقيسة الاخرى مع غاية الضبط والسهولة
والقياس المستعمل فى الفنون الذى لا ينبغى اهماله هو النقود
فوحدة النقود هى الفرنك وهو ينقسم الى عشرة اجزاء تسمى دسيما والى مائة جزء تسمى شنتيما والى الف جزء تسمى ملزيما وكل خمسة فرنكات تساوى ريالا فرنساويا يسمى شنكو وكل ثقل اربعين من الشنكو يساوى كيلوغراما واحدا وهذا هو الرابطة بين اقيسة النقود والاقيسة الجديدة

(بيان قياس القوى فى الميكانيكا بالنقود)

كما ان النقود تسد مسد المقادير كذلك تسد مسد قياس القوى المستعملة في اشغال الفنون

وقد قال المهندس موتنغولفيير الشهير انى لا اعرف من القوى الا القوة المستعملة بالاجرة فقد جعل النقود قياسا للقوة المستعملة في تحصيل اى شئ كان

مثال ذلك رجل له درجة ما من القوة واستعملها فى نقل اى ثقل الى مسافة تبلغ مترا واعطى له فى نظير ذلك فرنك واحد وآخر اقوى منه واشتغل قبله زمنا طويلا اوكان اسرع منه سيرا نقل ضعف الثقل المتقدم الى تلك المسافة بعينها واعطى له فى نظير ذلك فرنكان فهذان الفرنكان يدلان على ان هذه القوة ضعف المتقدمة فهذا هو كيفية استعمال النقود قياسا للقوة

فاذا فرضنا الآن ان ثالثا نقل بواسطة آلة ما كالنقالة والعربة الصغيرة والجرارة الثقل المتقدم ثلاث مرات بدون ان يصرف من القوة اكثر من التى استعملها الرجل الاول الذى اخذ فرنكا واحدا فى نظير نقل هذا الثقل مرة واحدة الى المسافة المذكورة فان هذا الرجل النقال الذى استعمل الآلة ياخذ ثلاثة فرنكات مع احتمال انه استعمل قوة دون التى استعملها الاول الذى اخذ فرنكا واحدا فعلى ذلك لاجل أن تكون النتيجة واحدة ينبغى أن يصرف احدهما قوة تكون اكبر من القوة التى صرفها الآخر ثلاث مرات

وعلى ماذهب اليه المهندس متنغولفيير يلزم أن تكون اجرة الرجلين المتقدمين واحدة حيث انهما احدثا عين النتيجة المتقدمة وأديا من القوة مقدارا واحدا وان كان احدهما صرف قوة اكبر من التى صرفها الآخر ثلاث مرات

هذا والذى يجب على الميكانيكى أن يتصدى اليه من المسائل هو تحقيق جميع الحركات والانتقالات واشغال الفنون بحيث اذا اريد تحصيل نتيجة مفروضة لايستعمل فى ذلك من القوة الممكنة الا كمية قليلة فبناء على ذلك يتحصل

بواسطة كمية معلومة من القوى اليدية مبلغ عظيم وهو اجرة النتيجة المطلوبة فهذه هي المسئلة التي الغرض الاصلي من ميكانيكا الفنون حلها

ثم ان القوة لا تظهر بمجرد التعادل و التوازن المتحصل بواسطة الاثقال التي بها تقاس هذه القوة بل تظهر بالحركات التي يلزم قياس مدتها

وانما لم اتعرض الآن الى تعريف الزمن والمدة لان تعريفي اياهما لا يتضح به ما يتصوره كل انسان

وتستعمل الاجسام التي تقطع مسافات متساوية في ازمنة متساوية قياسا للمدة غير انه ربما استحال وجود مثل هذه الاجسام في الطبيعة ولكن قد شاهد الراصدون ان الشمس ترجع بالنسبة لكل من نقط الارض الى مستو رأسي عند انتصاف الليل والنهار (والمستوى الرأسي هو المستوى الجانبي المتجه من الشمال الى الجنوب) وقسموا هذا الزمن الى اثنى عشر جزأ وسموها بالساعات وقسموا الساعة الى ستين دقيقة والدقيقة الى ستين ثانية وهلم جرا

وهذا القياس كاف بالنسبة لما تدعو اليه الحاجة عادة في الحياة الاهلية والامور المنزلية بخلاف ما تدعو اليه حاجة العلوم المضبوطة كعلمي الفلك والجغرافيا وكذلك ما تدعو اليه حاجة بعض الفنون كفن الملاحة فانه غير كاف لكون ايام السنة ليست متساوية لبعضها

فيجعل الفلكي وحدة قياسه الطول المتوسط من جميع ايام السنة ثم يقسم هذه الايام الفلكية تقسيما ثانويا الى ساعات ودقائق وثوان وغير ذلك والزمن الذي يعرف بواسطة هذه الاقيسة الاخيرة يسمى بالزمن المتوسط

ولما ظهرت الطريقة الجديدة المتعلقة بالاثقال و الاقيسة اختاروا لتقسيم السنة طريقة مصر وآثينا التي هي نزلة من نزل المصريين فقسموا السنة الى اثنى عشر شهرا والشهر الى ثلاثة اجزاء كل منها عشرة ايام وزادوا في كل سنة خمسة ايام على ٣٦٠ يوما الحاصلة من ضرب ٣٦ في عشرة وزادوا كذلك في كل اربع سنين يوما سادسا مكملا لايام السنة الرابعة فتكون السنة

على ذلك ٣٦٦ يوما وهى المسماة بالسنة الكبيسة

فكانت هذه الطريقة ارجح مما تقرر فى زيج غرغوار من التقويم المخالف الغريب الناشئ من الاثنى عشر شهرا التى منها ماهو ٢٨ يوما ومنها ماهو ٢٩ ومنها ماهو ٣٠ ومنها ماهو ٣١ ومجموعها على مافى الزيج المذكور ٥٢ اسبوعا الا ان جميع النصارى يميلون الى تقسيم السنة بالاسبوع وايام البطالة والشغل المتعاقبة مع ان ذلك مخالف لقانون العبادة حيث انهم كانوا يجعلون رؤس العشرات للدعة والبطالة واشهار المواسم الدينية وعلى ماتقدم ينبغى ابقاء الايام على ما كانت عليه سابقا ولا يلزم استعمال تقسيمها بالعشرات الا فى التجارة والحسابات العامة وحينئذ فليس هنالك مايمنع تلك الطريقة الا موانع قليلة

ولم يحفظ من تقسيم اليوم الى عشر ساعات والساعة الى مائة دقيقة والدقيقة الى مائة ثانية الا تقسيم العشرات والاثنى عشر شهرا المتساوية

وثم موانع كثيرة منعت من شمول هذا الحكم للاجزاء الاخر من مجموع الاثقال والاقيسة ولاجل جعل الموانع التى تمنع من اختيار هذه الطريقة على منوال الحسابات يلزم أن نبين خطاء المدبرين الذين يحملون الناس على اختيار الطريقة المذكورة بمحض القوة والاكراه فنقول انهم كانوا دائما يخشون أن تذهب من بين ايديهم حكومتهم المضطربة التى لاثبات لها فبادروا قبل كل شئ باجراء ما ينبغى عمله مع السهولة

ومن العمليات الاولية تجديد سبك جميع النقود التى وحدتها الفرنك الطورى القديم واما النقود الجديدة فوحدتها الفرنك الجديد وقد مكثوا اكثر من خمس عشرة سنة فى تجديد سبك نقود الفضة ولم يكمل الى الآن واما نقود الذهب فانها لم تبلغ الحد المطلوب الى ذلك الوقت

وقد اخطأ مبتدعو طريقة الاقيسة الجديدة خطأ فاحشا حيث ابطلوا عموم استعمالها قبل أن يجددوا عددا كافيا من انواع الاقيسة فكان ذلك سببا فى تعذر اجراء هذا القانون بدون واسطة

فبذلك

فبذلك صار التجار الذين الجأتهم الضرورة الى أن يبيعوا بمقتضى الاقيسة الجديدة مجبورين على أن يبيعوا بمقتضى الاقيسة القديمة نظرا الى ترغيب المشترين فانهم يريدون ذراعا من الجوخ مثلا لامترا و رطلين من خبز لا كيلوغراما وزقا من خمر لا لترا فهذا ما كانوا يفعلونه غالبا لاجل تطبيق الاقيسة الجديدة على القديمة اولاجل تحويل بعضها الى بعض

وقد تلاشى بعض هذه المضرات بتداول الازمان

وصارت الآن الطريقة الجديدة التى تخص النقود معلومة عند اغلب اهالى مملكة فرنسا ومعمولا بها

وصار اهالى مدينتى باريس ونيورنيس يستعملون الآن فى قياس خشب الحريق الاستير دون غيره

واما الكيلوغرام فانه مستعمل عند كافة النقالين والتجار

واما مقدار اللتر فهو معروف معرفة تامة عند الشغالين من جميع الطوائف لكونه قياسا للموائع

ومع ذلك فهنالك بعض استثناآت مضرة من اقيسة السعة وهى المكاييل يرجى زوالها

ولما تكلمنا على الجهالات والاوهام الفاسدة ناسب أن نبين بعض صعوبات اخرى لا تعلق لها بآراء الناس وانما هى ناشئة من طبيعة الاشياء فيستنبط من ذلك البيان بعض معارف فى الطرق التى يتم بها قبول طريقة الاقيسة الجديدة والعمل بها فنقول

مما يشق على الانسان أن يترك طريقة الاقيسة المستعملة منذ زمن طويل فان ضرر مبادى الاختراع اكثر من نفعها وها هى الصعوبات المذكورة

وهى ان جميع الاشياء المستعملة فى الفنون وعند الناس كالآلات الكبيرة والصغيرة ومواد التجارة والمنقولات والعمارات تتركب من الاصول التى عدتها التجربة والبراهين والحساب لتعيين الابعاد والاثقال والحجوم حتى ان المحافظة وعت شيأ فشيأ الاعداد الدالة على الحجوم و الاثقال والابعاد

المتقدمة المنسوبة الى وحدة القياس فاذا كان الصانع لا تقتبس معارفه من انوار العلوم كان علمه مقصورا على المعرفة المحلية المتعلقة بمقادير كل نوع بحيث اذا تغيرت وحدة القياس المعهودة له صارت معرفته العددية مفقودة بالكلية واذا اراد اخذ قياس بعد صغير لزم له تحويلات وحسابات وضياع زمن وزيادة تعب ولكن الكسل عند هؤلاء الناس بمنزلة المحامى الفصيح مع ان الواقع خلافه فان تصوراتنا لا تخرج عن اللغة المستعملة عند نابل اذا تعلمنا لغة اخرى فانه لا يمكن أن نتتبع ما يبدو لنا فيها من التصورات المتعاقبة ولا نتخيلها ونقابل بينها زمنا طويلا بدون أن نراجع لغتنا الاصلية مع الادراك والتعقل ولا شك ان هذه الملحوظة ظهرت بالتجربة لعدة من الناس وبالجملة فقد يوجد من ذلك عمليات تتعلق بعقولنا وذلك اننا اذا استعملنا وحدة القياس مرارا فانها ترسخ بقوة هذا الاستعمال فى اذهاننا بمعنى اننا نرى فى الفراغ مقدار هذه الوحدة الحقيقى ونعرف كيفية تطبيقه على الاشياء التى نتصور صورتها فاكتساب هذه المعرفة حينئذ من اعظم التقدمات فى ممارسة الفنون حيث يصير بها النظر هندسيا ويتعود على العمل المضبوط وبذلك يكون فى غاية الكمال

ومما هو واقع الآن انك اذا الزمت من يعرف اى نوع من الاقيسة بتغيير آحاد قياسه فان كان من الناس المعتادين اى كبقية الرجال الذين لم يخرجوا عن العادة ضاعت منه معرفة الامتدادات بحيث اذا اطلع على طول القدم ظن انه يساوى طول ثلاثة اقدام وربما زاد عليه قيراطا واعتقد صحة هذا الطول ومع ذلك فلا يتصوره كتصور الوحدة ولا يعرف كيفية تطبيقها على الاشياء حتى يحولها الى قياسه ولا يستعمل المتر وتقسيماته الثانوية الا اذا عرف من الاقدام مثلا ما يبلغه البعد الذى يظن انه مناسب لشئ من الاشياء ثم يرى ما تساويه هذه الاقدام من الامتار ولا يخفى ما فى ذلك من المشقة والتطويل ولا ريب انه اذا استمر من له قريحة جيدة على هذا العمل مدة مديدة فان ذلك يحدث عنه اقيسة جديدة ولكن قلما يوجد من الناس

من

من يبيع عاجلا بأجل جيد ولو كان قريب الحصول جدا

وقد اسلفنا آنفا الكيفية المهمة التي يستعملها العقل في عمليات الفنون ولما كان الناس عادة يميلون الى الاشياء البسيطة السهلة اجتهدوا في جعل جميع الاشياء على نسبة أولية بينها و بين الاقيسة المستعملة وفي التعبير بالاعداد الصحيحة عن الابعاد المستعملة عادة في الصناعة و يؤخذ من ذلك ان الانسان الذي لم يحسب مدة حياته قوة قطعة صغيرة من الحديد او الحجارة او الاخشاب لا يعرف هل مقدار قوتها يساوي ١٢ قيراطا او ١٢ قيراطا و $\frac{١}{٢}$ او ١٢ قيراطا و $\frac{١}{٤}$ او ١٣ قيراطا فكيف يمكنه أن يعرف بمجرد النظر مناسبة اي بعد باقل من $\frac{١}{١٢}$ تقريبا وحيث ان هذا التحديد المضبوط يفوق ما اعتاده عقله من العمليات لا يمكنه الوصول اليه فعلى ذلك ينبغي أن يكون قياس القطعة التي يستعملها قدما محكما لانه اصح جميع الاقيسة لكونه ابسطها و ينتقل هذا القياس غالبا من المعلم الى المتعلم و بتداول الايام تصير الاشياء كلها متوارثة في عمليات الصناعة و العوايد الجارية بين الناس لكن اذا تغيرت طريقة الاقيسة فان الاعداد الصحيحة في الطريقة الاولى لا تكون صحيحة في الثانية و بالجملة اذا كان الانسان يريد قدما من الطول لاجل قياس قطعة معه وكان قد رأى ان اباه او معلمه فرض لقياسها قدما فكيف يطلب منه انه يفرض لها قياسا آخر غير متر واحد منقسم الى ثلاثة آحاد زائدا احدى عشر من مائة و اربعة و اربعين من القدم و مائتين وستة وتسعين من الف من مائة واربعة و اربعين مغه اي من القدم المذكور و بناء على ذلك اذا قال له بعض العارفين بالابعاد الحقيقية للقطعة المطلوب قياسها مثلا لا يصح أن يكون القياس المفروض لهذه القطعة اثني عشر قيراطا محولة الى امتار بل بحسب ما ظهر لي من العمليات المقتبسة من النظريات يكون ثلاثة دسمترات او ثلاثة دسمترات ونصفا او نحو ذلك يظن ان قواعد فنه تغيرت بالكلية

ومن المؤلفين الذين ذكروا في كتبهم الاقيسة الجديدة من بين مقادير الاشياء

بهذه الاقيسة واضاف اليها نفس تلك المقادير بالاقيسة القديمة وحيث ان هذه الاقيسة القديمة مستعملة كثيرا عند معظم القرآنتج من ذلك ان المتولعين بمطالعة تلك الكتب الذين يقتصرون على مايكون من الاشياء قليل التعب لايميلون الا الى الاقيسة القديمة دون غيرها

و يظهر لنا سبب آخر جدير بالذكر هنا وحاصله انه حيث لم يكن ادراك الحافظة الامجرد تخيل لزم ضبط المقادير المذكورة فى اللغة المستعملة عندنا بكثرة ولجهل هذا السبب رأينا كثيرا من الناس من يعتقد ان ضبط الاقيسة الجديدة اصعب من ضبط المقادير المتساوية المبينة بالعنوان القديم بل اتفقت كلمتهم على تأييد هذا التخيل وكلما كانت المقادير مبينة باعداد بسيطة او صحيحة من الاقيسة القديمة نشأ من الاقيسة الجديدة التى تكاد تكون صماء مع الاقيسة الاخرى القديمة اعداد صعبة وربما كانت المقابلة التى يلجأ اليها القارئ بين هذه المقادير المتقاربة من بعضها معضدة لانفع الطريقتين

ومن المؤلفين من اقتصر فى تأليفه على الاقيسة الجديدة دون غيرها الا انهم لم يزالوا فى الغالب يقتدون بسلفهم من المؤلفين فى كونهم يعملون جميع العمليات الاصلية على مقتضى الاقيسة القديمة فنشأ عن ذلك انهم عوضا عن أن يتحصل معهم من الاقيسة الجديدة اعداد صحيحة لم يتحصل معهم الا كسور وصلوها الى درجات تقريبية لاجدوى لها لكونهم تجاوزوا حد الصحة فى كل من انواع العمليات

فعلى ذلك كان يلزم فى جميع الفنون عند اختراع الاقيسة الجديدة عمل جداول جديدة تكون صحيحة الاعداد على مقتضى الاقيسة المذكورة لانه يحدث عنها المعلومات والحواصل الضرورية التى تكون المعلومات فيها نتائج لازمة فاذن تكون منافع اختيار الطريقة الجديدة كثيرة ومضارة قليلة يمكن ازالتها فى قليل من الزمن

و ينبغى أن نشرح هذه التصورات شرحا موضحا فنقول

اذا كان هناك آلة متبحرة فى صناعة من الصناعات لزم ان الفنون التى

تتركب

تتركب هي منها تكون مرتبطة بعضها ارتباطا كليا او قل من هذه الفنون
مالا يستمد من غيره آلات ومواد اولية بل منها ما الغرض الاصلي منه كفاية
هذه الحاجة وتلك الفنون هي التي ينبغي اعتبارها ومراعاتها دون غيرها
والتي يجب ادخال طريقة الاقيسة الجديدة فيها بجميع ما يمكن من الوسايط
مع تحويل سائر المقادير وسائر ابعاد محصولاتها الى اعداد صحيحة بالنسبة
الى تلك الاقيسة فعلى ذلك كان يلزم اما أن نكسر انواع الصب والمساحب
والقوالب او ننتظرها حتى تتكسر بنفسها ونعملها ثانيا على موجب طريقة
الاقيسة الجديدة ثم يلزم ان الصنائعية لا يعملونها الا اذا وفوا بجميع الشروط
اللازمة وقد يكون ذلك في الاقمشة مثلا بأن يفرض لها متر واحد او ٥ او ٦
او ٧ دسيمترات من العرض وبالجملة فكان على من ادخل طريقة الاقيسة
الجديدة في الفنون أن يمارس اد في تفاصيل تلك الفنون ويعانيها مع التؤدة
والتأني ولاشك ان ذلك فيه من المشقة مالا مزيد عليه ومنفعته تفوق رونقه
لكن يكفي من تصدى اليه من المؤلفين النجاح فيه وبلوغ المرام وتحصيل
الشرف التام

ولنشرع الآن في ذكر امثلة صحيحة توضح ما سبق من الامور العامة فنقول
اذا كانت الاقيسة الجديدة مختارة في بعض الجهات فان ذلك انما يكون
حقيقيا في اشغال المصالح العامة لان المنوط بها رجال لهم اليد الطولى
في المعارف وحيث ان هؤلاء الرجال بالنظر لصناعتهم لهم ارتباط بالحكومة
التي يأخذون منها ادوات الهندسة كانوا بالضرورة هم الذين يخترعون
وينشرون رسوم تلك الحكومة المتعلقة بالفنون ولنبحث فيما نحن بصدده
عن الدرجة التي وصلوا اليها في تلك الرسوم فنقول

لما كان مهندسو الجهادية والقناطر والجسور مجبورين بطبيعة اشغالهم
وخدمهم على عمل جملة عظيمة من الحسابات او تحقيقها استحسنوا أن يتركوا
من الطرق ما تكون به الحسابات صعبة وغير منتظمة ليبادروا بالاصطلاح
على طريقة اخرى سهلة منتظمة كطريقة الاقيسة الاعشارية فجددوا

جدول مقادير اشغالهم بالاقيسة الجديدة ولم يعرفوا غيرها
وقد تقدمت الهندسة البحرية فى هذا المعنى تقدما بطيأ بالكلية فانه ظهر مع المشقة بعد اربع سنوات جدول ابعاد الاخشاب بالاقيسة الجديدة ومع ما وجد فى هذه العملية الاولية من العيوب التى لا تعد ولا تحصى كتطويل العمل جدا فى تكعيب كمية عظيمة من الاخشاب اللازمة لعمارة السفن اذا اقتضى الحال تكعيبها بموجب الاقدام والقراريط ونحو ذلك بخلاف التكعيبات المترية لظهور سهولتها فالاخشاب الواردة لا تقاس الا بالاقيسة الجديدة فى مينات الدولة لكن يلزم لاجل تطبيق الاقيسة الجديدة على فن عمارة السفن بذل الهمة والشغل الجسيم ويلزم ايضا عمل قوائم تتضمن مصاريف السفن والفراقيط وسائر انواع السفن باعداد صحيحة مع بيان الابعاد المحولة لكل قطعة من اجزاء السفينة على وجه التفصيل وبالجملة فيلزم نشر هذا الشغل الجسيم فى جميع الفنون البحرية وهى التى تكون محصولاتها عند المهندس اصلا لاشغاله كالصوارى والحبال والبكر والشراعات وغير ذلك وحيث انهم لم يجروا هذه العمليات الاولية اصلا ترتب على ذلك انهم استعملوا المتر فى المينات الفرنجية زمنا طويلا ثم قسموه تقسيما ثانويا الى اقدام وصار العمل على تلك الاقدام وهذه الاقيسة ذات الوجهين هى عين ما فى الكتب المتقدمة قريبا التى ذكرت فيها الاقيسة مثنى على وجه بحيث لا يراجع فيها الا الاقيسة القديمة
ولكن لما صارت السفن والقبائل تحت ادارة الملتزم كابر مونت تونير وكان من اقدم تلامذة مدرسة المهندسخانة الفرنجية حصل فى ذلك تغيير عظيم وذلك انه صدر عنه امر بانه من الآن فصاعدا لا ينبغى أن تستعمل الاقيسة القديمة فى مينات فرانسا ولا ترسخاناتها ولا فى القبائل وحكم بابطال الاقيسة التى تدل من جهة على تقسيمات الاقيسة القديمة ومن اخرى على تقسيمات الاقيسة الجديدة فانظر الى هذه المنافع البطيئة المحققة الناشئة عن المدارس العظيمة التى يكتسب منها الشبان معارف متسعة متينة لكونها

تؤثر فيهم تأثيرا يزداد على ممر السنين حتى يكون فيهم استعداد للحكم بعد تتميم دروسهم بهذه المثابة ويحصل بهم نفع لم يكن يعرف قبل ذلك

ومن المصالح العامة ما يكون فيه تأثير الموانع الآتية اقوى من تأثيرها في غيره وذلك ان الاصل الذى يتعلق به ماعداه من الاصول فى فن الطوبجية هو ثقل الكلة او عيارها واما اقيسة المدافع وجبخاناتها وذخيرتها وعرباتها فذلك كله نتيجة ضرورية من ذلك الاصل غير ان اثقال الكلل المبينة باعداد صحيحة بالنسبة للاقيسة القديمة لا تكون باقية على حالها بالنسبة للاقيسة الجديدة وعليه فما تسمى مثلا المدافع التى عيارها ٢٤ رطلا من الرصاص فلا يصح أن يقال لها مدافع من التى عيارها ١٢ كيلوغراما لان ذلك من قبيل الخطاء فان ١٢ كيلوغراما اكبر من ٢٤ رطلا ولا يصح ايضا أن تسمى بالمدافع التى عيارها ١١ كيلوغراما لان ذلك من قبيل الخطأ ايضا فان ١١ كيلوغراما اصغر من ٢٤ رطلا فاذا سميت بمدافع عيارها ١١ او ١٢ كيلوغراما كانت هذه التسمية فاسدة وعليه فتكون تسمية ذخيرتها وجميع معلوماتها المرتبة بموجب اثقال الكلة فاسدة ايضا وهذه المشكلات محققة لا خفاء فيها اذ من المعلوم ان صناعة المدافع والكلل مع الاتقان والسرعة لا تمنع من زيادة ثقل الكلل فربما تجاوز هذا الثقل عدد الارطال المبين لعيارها وبذلك يقرب العدد المذكور المبين لعيار الابوس والمدافع من نصف الكيلوغرامات

ولما ظهرت طريقة الاقيسة الجديدة لم يظهر فى فن الطوبجية من الاحوال ما يحصل فيه قابلية لأن يحدث فيه تغير عام فاذا اخذت الطريقة العسكرية الفرنجية فى اتساع جديد ولزم لها انشاء معامل ومسابك لم تكن موجودة فى الاقيسة القديمة التى كانت آلاتها اذ ذاك غير معروفة فى المصالح لاتساع الاثقال وتقدمها على وجه لم يكن قبل ذلك فلم لا تصنع معامل جديدة بموجب معايير ٤ انصاف كيلوغرامات او ٦ او ٨ الخ عوضا عن أن تصنع بموجب معايير ٤ ارطال او ٦ او ٨ الخ فان

صنعها بموجب المعايير الاولى يترتب عليه فى اسرع وقت كثرة عدد المدافع الجديدة حتى لا تمكن المضاهاة بينها و بين المدافع القديمة و يحصل من الاعتناء بهذا الامر ابطال الاقيسة القديمة و خروجها عن الخدامة العسكرية بالكلية و بذلك يحصل تغير عظيم فى الاقيسة بدون أن ينشأ عنه تلف ولا بذل جهد فاذا كان يخشى من كثرة المعايير الوقتية التى هى نتيجة هذا الابتداع فلا شك انه يمكن أن تجعل اسلحة بعض الحصون و بعض الجيوش من المدافع القديمة واسلحة الاخر من الجديدة لان هذه التغيرات تستدعى ضرورة نقل بعض المدافع غير انه عند نقل المدافع القديمة من الحصون المامونة الى الحصون المخوفة او الايات العساكر المتنقلة وكذلك عند نقل مدافع المعامل الجديدة الى الحواصل والجبخانات والحصون التى تكون قليلة الخطر ونقل المعايير القديمة البحرية دائما الى السفن والمحافظة بالجديدة على السواحل ثم على جبخانات المينات العظيمة يحدث من التأثير الطبيعى للحرب تغير لا يعد غريبا الا عند ذوى العقول القاصرة

فان قيل هل هذا التغير ممكن الآن قلنا نعم لا مانع منه فان هذه الوسايط بعينها توصل على ممر الازمان الى نتائج واحدة و يكفى فى ذلك تغيير قطر آلة ثقب المدافع تغييرا لائقا و مابقى يتغير بنفسه

و بالجملة فلا مانع من ادخال اقيسة الامتداد الجديدة فى فن الطوبجية سواء حصل تغيير اولم يحصل ولا ارتباط لهذه الاقيسة بصنع الاثقال وليست معايير المدافع التى قدرها ٤ ارطال او ٦ او ٨ الخ مبينة باعداد صحيحة من القرار يط كما انها لم تبين بالسنتمتر وكذلك بعض مقاييس اخرى وربما كانت هذه العملية عظيمة اذا كان احد ضباط هذه الاسلحة الشهيرة يقوم الاقيسة القديمة الثابتة بالممارسة كالميكانيكى والمهندس و يحولها الى الاقيسة الجديدة باعداد بسيطة فان ذلك لا يخلو عن فائدة ولا شك ان هذه التقدمات هى نتيجة هذا المشروع النفيس و بتداول الازمان والفوائد الطبيعية التى تحدث عن هذا الشغل تجبر جميع الجيوش على اختيار الاقيسة المذكورة ولا بد انه فيما بعد

يترتب على صحة المعايير تقدم في اشغال فن الطوبجية
فاذا استعملت الاقيسة الجديدة في المصالح العامة وصارت مقبولة فيها كان لها بذلك دخل في بقية الاشغال العامة وجميع الفنون المدنية المرتبطة بها ارتباطا ضروريا وهي مجموع الفنون الرياضية تقريبا وقد كانت مستعملة قبل ذلك في فنون الكيميا مع الفائدة التامة فان معظم من مارسوا اشغال هذه الفنون المتنوعة كانوا ينشرون ما اكتسبوه من المعارف شيأ فشيأ و بتداول الايام تزول الموانع الاخرى
ولما فرغنا من الكلام على مايترتب على التغيير الحاصل في مقدار الاقيسة من الصعوبات وجب الآن أن نشرع في ذكر صعوبات تغيير العنوان ولنذكرها في مبادى هذا الدرس فنقول

(الدرس الثاني)

في بيان مابقي من الاقيسة وفي قوانين التحرك الاولية وتطبيقها على الآلات

قد تقدم مايقضي بصحة الادلة التي بها اختيرت العناوين المستنبطة من اللغات القديمة وقد كانت هذه الادلة في غاية الدقة والغموض بحيث لم يدركها جم غفير من الناس حتى قالوا فيما بينهم لم اختاروا هذه الاسماء التي لايعلم تأويلها الا الجهابذة الراسخون في العلم الم يكفهم مايحدث عن كل تغيير يحصل في مقدار الاقيسة من المشكلات القوية مع قطع النظر عما يتولد عن العناوين الجديدة من الموانع وهل مثل هذه الاصطلاحات لكافة الناس بل لامانع انه كما سلك الانسان في التعبير عن المكرر وقاسمه بالفاظ مركبة من كلمتين دالتين على نوع الوحدة واختصارها طريق الدقة والغموض كانت هذه الالفاظ الغير الجلية اسرع الى النسيان وعدم الرسوخ في الذهن فيختلط عليه دائما هذه الالفاظ الكثيرة المنتهية بكلمة واحدة نحو مليمتر وسنتمتر ودسمتر ولكن من ذا الذى يرى ان مثل هذه الاعتراضات الواهية تظهر على الحقيقة والصواب في الولايات التي ينبغي لها المباهاة والتفاخر بوضع قواعد الاقيسة المستحسنة العظيمة

واذا لم نبذل الجهد فى تأييد ما ذهبنا اليه فى شأن الاقيسة حتى تكون مقبولة عند جميع الملل فهل ما عدانا من الملل يؤيد هذا المذهب الذى لا ينسب اليه هذا ولا مانع أن نضيف الى تلك الادلة التى لا يرجحها الاقاويل من ارباب العقول هذه الادلة وهى انك اذا لم تغير اسم الاقيسة التى تركتها فكيف تميز المقادير المبينة اولا بالاقيسة القديمة ثم بالاقيسة الجديدة وهل يحصل ذلك الا بواسطة كتابة اقيسة قديمة واقيسة جديدة دائما ولكن الكسل بعث الناس على الاقتصار على انصاف الاسماء الوجيزة الدالة على الاقيسة فانك ترى بعض تجار الفرنج اجتنابا بالتحمل المشقة فى النطق بجميع حروف كيلوغرام مثلا يقتصرون على صدرها فيقولون كيلو فعلى ذلك لو سلكوا هذا المسلك فى الكيلولتر والكيلومتر لقالوا فيها ايضا كيلو وبذلك لا يعرفون ما ارادوه بهذه الكلمة واما نحن معاشر الرياضيين فكلامنا مفيد لا لبس فيه بحيث لا يعوقنا عن المرام مثل هذا الالتباس الهين فيكتفى حينئذ باطلاق اسم القدم على القدم القديم او ثلث المتر تقريبا ومن هنا يقع خلفنا فيما اوقعنا فيه اقيسة سلفنا غالبا من الحيرة وعدم الوقوف على الحقيقة * مثال ذلك استعمالهم لفظة غلوة التى هى على اربعة انواع بدون أن يميزوا المراد من تلك الانواع فانا لا ندرى بايها قدرت المسافات التى نراها فى كتبهم * فهذا هو الغرض الذى تصدينا اليه وفاء بما يجب علينا لخلفنا وكيف يصح ان الاسماء المصطلح عليها فى علم من العلوم يعسر حفظها وثباتها فى الذهن اذا كانت مركبة من خمس عشرة كلمة فصاعدا اوليس اتانود المبالغة فى صعوبة مثل ذلك حتى نفتخر بانه من قبيل المعجز الذى لا يبارى ولا يغلب وهل ينكر ان تقدم العلوم منذ قرن كان سببا فى استعمال كثير من الاصطلاحات الماخوذة من اللغة اليونانية وادخالها فى العرف الخاص والعام فمن ذا الذى لا يعرف البارومتر والترمومتر وكيف يسهل حفظ هذين الاسمين دون الكيلومتر مثلا

وهل ثم من الصبيان من لا يحفظ عدة اسماء صعبة مثل كسموراما وديوراما وبانوراما وجيوراما وفنتسماغورى ويعرفها بمدلولاتها حق المعرفة

فاوجه صعو بتها دون متر ودسمتر ونحوهما الا انها لا تدل الا على الصور والظلال القابلة للتغير القريبة الزوال من الذهن بخلاف المتر وفروعه فانهما تدل دائما على الاطوال المادية التي يمكن تناولها باليد ومسها ورسوخها بمجرد الوقوف عليها بحيث لا يعتريها بعد ذلك تغير ولا زوال ولنعترف الآن اننا بقدر انهما كنا واعتنائنا بما لا يجدي نفعا من امور اللهو واللعب نتكاسل عن الالتفات الى ما لا بد منه في حاجاتنا الضرورية

ولا حاجة الى البحث عن اسماء مهملة اجنبية من الفن فهي سهلة الحفظ حيث يوجد الى الآن الفاظ كثيرة مصطلح عليها في الكيميا عند جميع الفرنج فان بعض من لا يعوّل عليهم من ارباب العقاقير والجراحين الذين في الارياف لم يزالوا الى الآن يعرفون اصول هذه الالفاظ ومع ذلك فلو اهمل الكيمياويون من الفرنساوية الالفاظ العلمية النفيسة ليسهل تناولها على ارباب العقاقير ومن يدعي معرفة الجراحة من جراحي الارياف وكذلك لو سلك هذا المسلك اهل النمسا وايطاليا والانكليز واصطلحوا على الفاظ توافق لغاتهم لتنوعت الاصطلاحات العلمية التي من شأنها الوحدة الى انواع عديدة ملتبسة ببعضها لكنهم شرعوا في مشروعات محمودة حيث اصلحوا وحرروا ما لا يحصى من الالفاظ الاصطلاحية ففي ظرف عشر سنوات صارت هذه الالفاظ مقبولة مستعملة عند سائر الامم التي تمارس العلوم الطبيعية ومما يجب التنبيه عليه زيادة على ذلك ان هؤلاء العلماء المشمرين عن ساعد الجد والاجتهاد آخذون في تجديد علومهم كلها بدون التفات الى ما يثبطهم عن ذلك وعليه فيلزم تجديد علم الاقيسة بسائر انواعه وفروعه وهذا هو الغرض من كلا منا سابقا ولاحقا

وكان الكيمياويين لما اعتنوا ثانيا بجميع الحوادث ليجددوا مع الضبط نسب القواعد الناشئة عنها تلك الحوادث كان ذلك وسيلة الى استكشافات كثيرة جدا كذلك اذا صنع الانسان جداول مضبوطة تحتوي على سائر انواع المقادير التي تكون عبارة عن معلومات الفنون كان ذلك ايضا واسطة

فى وصول العلم الى درجات الكمال وتطبيق العمليات على قواعد حسابية لم يكن جرى فيها ذلك من قبل فتكون هذه الاشغال منشأ للتقدمات المستقبلة

(بيان قوانين التحرك الاولية)

يظهر من رصد الاجسام المتحركة على الارض ومن مجموع الكواكب السيارة عدّة قواعد اصلية ينبغى ذكرها هنا ليتفرع عليها البيان الآتى فنقول

(اولا) اذا لم يعرض للجسم الساكن شئ يحركه فانه يستمر على سكونه لانه فى هذه الحالة لا مقتضى لحركته فى جهة ما فعلى ذلك اذا اتصف الجسم بالحركة بعد السكون فلابدّ أن يكون قد عرض له سبب اوجب تحركه الى احدى الجهات وهذا العارض هو المسمى بالقوّة والغرض الاصلى من علم الميكانيكا هو معرفة كيفية تأثير القوى فى الاجسام المنفردة او المرتبطة بعضها بالنظر لاوضاعها وصورها.

(ثانيا) اذا اخذ جسم فى التحرك فى اتجاه ما بسرعة ما فاذا لم يكن هنالك ما يمنع تحركه استمر على الحركة فى هذا الاتجاه مع السرعة المذكورة بمعنى انه يقطع مسافات متساوية فى ازمنة متساوية وهذا ما يسمى بالتحرك المنتظم او المتسق

ومتى غير هذا الجسم اتجاهه او سرعته فان التجربة تدل على ان هذا التغير حاصل من تاثير موافق او مخالف واقع من قوّة جديدة

وكذلك اذا كان الجسم الجمادى العادم للحركة غير قابل للتحرك فانه يعلم من ذلك انه لا يقبل الحركة بحال فعلى ذلك اذا كان الجسم الجمادى متحركا فانه يستمر على حركته بمعنى انه يقطع فى اتجاه واحد مسافات متساوية فى زمن واحد * والسرعة هى النسبة التى بين المسافة المقطوعة والزمن مثلا اذا جعلت الدقيقة وحدة للزمن والمتر وحدة للطول يقال ان الجسم الذى يقطع مترا فى دقيقة واحدة يتحرك بسرعة ١ والجسم الذى يقطع مترين فى دقيقة واحدة يتحرك بسرعة ٢ والجسم الذى يقطع ثلاثة امتار فى دقيقة واحدة يتحرك بسرعة ٣ وهكذا

وقد

وقد دلت التجربة ايضا على دعوى اخرى شهيرة جدا وهي انه يحدث عن قوتين واقعتين على جسم واحد في اتجاه واحد (كفرسين مربوطين في قطار واحد لجر عربة مثلا) عين التأثير الحادث من قوة واحدة مساوية لمجموع هاتين القوتين واقعة على الجسم المذكور في اتجاه واحد ايضا وهذه القوة هي التي يطلق عليها اسم المحصلة لانها متحصلة من قوتين اخريين يسميان بالمركبتين اولانه يتحصل منها عين النتيجة المتحصلة من هاتين المركبتين

واما في صورة العكس وهي ما اذا كان قوتان واقعتين على جسم واحد في اتجاه واحد لكن في جهتين متضادتين فان الجسم يتحرك كما لو كان مندفعا بقوة واحدة محصلة مساوية لفاضل القوتين المركبتين ومتجهة الى جهة كبراهما

وعلى ذلك يشاهد ان العربجية عند الهبوط بالسرعة يحلون الفرس من أمام العربة ويربطونه خلفها ليجرها القهقرى وفي هذه الصورة لا تكون القوة المحركة الا كقوة فرس آخر يجرها الى الامام ناقصة قوة الفرس الذي يجرها الى خلف عوضا عن أن تكون هذه القوة اعني المحركة قوة فرسين

(بيان التوازن)

اذا كانت القوة الجاذبة الى جهة الخلف مساوية للقوة الجاذبة الى جهة الامام فان فاضلهما يكون صفرا ولا يتحرك الجسم الى جهة احداهما ولا الى جهة الاخرى ومن ذلك يحدث ما يسمى بالتوازن اعني بالسكون القهري وهي حالة مخالفة للسكون الطبيعي الذي يكون باقيا على حالة واحدة مالم يؤثر في الجسم قوة تجبره على التحرك

فاذا كانت محصلة عدة قوى يضادها قوة جديدة مساوية لها ومتجهة الى جهة مضادة لجهتها فانه يحدث من ذلك توازن وهذه قاعدة شهيرة جيدة تسوغ ضم المسائل التي يكون الغرض منها البحث عن النتائج التي يحدث بها التحرك الى مسائل التوازن

وعوضا عن اعتبار قوتين مؤثرتين دون غيرهما في اتجاه واحد يمكن

اعتبار ٣ او ٤ او ٥ الخ او عددما من القوى وحينئذ يلزم لاجل تحصيل المحصلة امران احدهما اخذ مجموع سائر القوى التى تجذب او تدفع الى جهة الامام ثانيهما اخذ مجموع سائر القوى التى تجذب او تدفع الى جهة الخلف وبذلك يتحرك الجسم فى جهة المجموع الاكبر كما يكون مدفوعا او مجذوبا بقوة واحدة مساوية لفاضل هذين المجموعين

(ولنفرض مثلا عربة حمل مجرورة بثمانية افراس فى قطار واحد فمتى كانت جميع هذه الافراس مربوطة كلها جهة الامام فان العربة تكون مجرورة بقوة فرس واحد مساوية لقوة الافراس الثمانية ثم اذا حل العربجى ثلاثة من هذه الافراس مثلا وربطها خلف العربة لتجرها القهقرى فان التحرك الكلى يكون اولا عين ما اذا كان هناك فرس واحد مربوط فى جهة الامام قوته مساوية لقوة الافراس الخمسة وفرس آخر مربوط فى جهة الخلف قوته مساوية لقوة الافراس الثلاثة المذكورة وثانيا يكون مساويا ايضا للتحرك الحادث من فرس واحد قوته مساوية لفاضل الافراس الخمسة المربوطة فى جهة الامام والثلاثة المربوطة فى جهة الخلف وهذا التحرك بالضرورة يكون واقعا فى جهة خمسة الافراس اذا كانت قوتها متساوية)

ومما ينبغى حفظه والاهتمام به قاعدة ثالثة وهى اذا لزم قوة ما لتحرك جسم بسرعة ما اعنى لنقله الى مسافة معلومة فى زمن معلوم فنصف هذه القوة لا ينقل الجسم المذكور فى هذا الزمن الا الى نصف المسافة المذكورة وثلثها لا ينقله الا الى ثلثها وربعها لا ينقله الا الى ربعها وهكذا دائما مع تناسب واحد .

وكذلك فى صورة العكس وهى ما اذا كانت مدة الزمن ثابتة بالفرض فان ضعف القوة ينقل الجسم المتقدم الى ضعف المسافة المتقدمة وثلاثة امثال هذه القوة تنقله الى ثلاثة امثال المسافة واربعة امثالها تنقله الى اربعة امثالها وهلم جرا

فاذا بقيت القوة ثابتة وتغير حجم الجسم نشا عن ذلك ما سنذكره

وهو انه في مدة هذا الزمن تنقل القوة الثابتة ضعف الجسم الى نصف المسافة وتنقل ثلاثة امثال الجسم الى ثلث المسافة واربعة امثال الجسم الى ربعها وهكذا وكذلك تنقل القوة الثابتة نصف الجسم الى ضعف المسافة وثلثه الى ثلاثة امثالها وربعه الى اربعة امثالها في نسبة واحدة دائما

ويؤخذ من ذلك ان الجسمات الكبيرة اصعب في التحرك من الجسمات الصغيرة وهذه المقاومة مناسبة للجسم تناسبا مضبوطا بحيث تكون المقاومة مع القوة المستعملة في تحرك حمل واحد مناسبة للجسم دائما

وحينئذ يوجد في المادة تضاد بين التحرك والسرعة وهو مناسب للجسم وهذا التضاد الذي ينبغي ابطاله هو المسمى بالانرسي (اى الحالة الذاتية للجسم)

ويكون الانرسي المذكور في غاية الظهور عند مقابلة المجهودات التي تبذل في تحريك الاجسام الكبيرة والصغيرة ببعضها وذلك ان الطفل الصغير مثلا يحذف بعيدا عنه بعدا كافيا حصوة صغيرة وحبات من الرمل بخلاف الرجال الاقوياء فانه يمكنهم عند جمع قواهم في زمن واحد أن يحركوا بقيراط واحد حملا ثقيلا اوقطعة من الرخام مثلا

ولننبه هنا على الكيفية القطعية التي بها يمكن ان يتحصل من القوة نتيجة واحدة بطرق مختلفة فنقول

يمكن قطع الجسم المطلوب نقله الى اجزاء متساوية كاثنين او ٣ او ٤ الخ ثم توقع القوة بتمامها على كل من هذه الاجزاء فاذا قطع الى جزئين متساويين مثلا فان كلا منهما ينقل بسرعة مضعفة فاذن يكون الجزآن المذكوران منقولين في زمن واحد كلي فاذا قطع الى ثلاثة اجزاء متساوية فان كل ثلث ينقل بثلاثة امثال السرعة فاذن تكون الاثلاث الثلاثة منقولة في نفس الزمن الكلي وهكذا

فاذا فرض حينئذ ان هنالك عشرين حملا متساوية في الجسم ولزم نقل كل منها

الى مسافة معلومة بواسطة ٢٠ قوة متساوية فاذا وصلت هذه الاحمال بعضها مثنى ونقلت بقوى متصلة بعضها مثنى ايضا فانه يحدث للنقل ١٠ طرق عوضا عن ٢٠ الا ان العشرين جسما تكون منقولة دائما الى مسافة واحدة فى زمن واحد وقد يحصل مثل ذلك ايضا اذا وصلت الاحمال بعضها ثلاث اى ثلاثة ثلاثة اورباع اى اربعة اربعة ونقلت بالقوى المتصلة بعضها ثلاث اورباع ايضا

فلذلك كان على حد سواء (بالنظر الى التقويم الميكانيكى) نقل الثقل الكلى المذكور فى عربات بفرس واحد او ٢ او ٣ او ٤ بشرط أن تكون احمالها كحمل فرس او ٢ او ٣ او ٤ الخ ويكون الثقل الكلى منقولا دائما بواسطة العربات الى مسافة واحدة فى زمن واحد وهذا هو سبب كون النقالين يدفعون اجرة معينة بالكيلوغرام فى نظير النقل سواء كان الحمل يزن قليلا او كثيرا من الكيلوغرام لان القوة الكلية التى يلزم استعمالها فى النقل مناسبة للثقل الكلى من الاشياء المنقولة وبالجملة فهذا هو السبب فى ان النقالين كانوا يدفعون للعربجية اجرة واحدة على حسب تقويم الكيلوغرام سواء كان العربجية يستعملون فى ذلك عربات بفرس واحد او ٢ او ٣ او ٤ الخ لان الثقل الكلى المنقول بكل عربة مناسب للقوة الكلية للخيول المربوطة فى العربة

ولاجل تحصيل تصرف القوى التى يستلزمها الجسم المنقول الى مسافة معلومة يلزم تقويم هذا التصرف اولا بموجب ثقل الجسم المذكور وثانيا بموجب السرعة المعدة لقطع المسافة المذكورة فيكون حاصل هذا التقويم دالا على كمية التحرك

وقد يتقوم الثقل بالكيلوغرامات والزمن بالساعات فاذن اذا كان كيلوغرام واحد يقطع المسافة المأخوذة وحدة فى ساعة واحدة كانت كمية التحرك = ١ واذا كان ١٠ كيلوغرامات او ١٠٠ او ١٠٠٠ تقطع وحدة المسافة فى ساعة واحدة فانها تؤدى كمية التحرك المبينة مرة واحدة

باعداد ١٠ او ١٠٠ او ١٠٠٠ الخ

واذا كان كيلوغرام ١ او ١٠ او ١٠٠ او ١٠٠٠ الخ تقطع المسافة مرتين في ساعة واحدة فانها تؤدى كمية التحرك المبينة مرتين باعداد ١ او ١٠ او ١٠٠ او ١٠٠٠ الخ من الكيلوغرام

وانما اكثرت هنا من ذكر الامثلة لما انها توضح ايضاحا اصليا التعريفات التي ينبغي تسهيلها بقدر الامكان

ولنتكلم قبل التوغل فيما نحن بصدده على قوانين السكون والتحرك التي سبق تعريفها قريبا ونذكرها على وجه اجمالى فنقول

كل جسم ساكن يبقى على حاله مالم تجبره على التحرك قوة واحدة او قوى متعددة

وكل جسم متحرك يبقى على حاله مالم تعرض له قوة تمنعه عن الحركة

وكل جسم متحرك تابع لمستقيم واحد يقطع مسافات متساوية في ازمنة متساوية مالم تعرض له قوة اجنبية تغير ثبات تحركه وانتظامه وهذا التحرك هو المسمى بالتحرك المنتظم او المنتسق

والسرعة هي النسبة الحاصلة بين المسافة المقطوعة على وجه الانتظام وزمن قطعها

فاذا كان زمن قطع المسافة ثابتا فالسرعة المضعفة مثنى وثلاث ورباع تكون كالمسافة وقد تكون ايضا على النصف او الثلث او الربع ونحو ذلك بحسب تقسيم هذا الزمن وبالجملة فهى مناسبة دائما للمسافة تناسبا مطردا

واذا كانت المسافة المقطوعة ثابتة فكلما كان زمن قطعها كبيرا كانت السرعة صغيرة وحينئذ تكون نسبتهما منعكسة انعكاسا كليا بمعنى انه اذا كان الزمن مضعفا مثنى وثلاث ورباع كانت السرعة على النصف من ذلك او الثلث او الربع وهكذا

واذا كانت السرعة ثابتة فالمسافة المقطوعة تكون مناسبة للزمن تناسبا مطردا بمعنى انها تزيد وتنقص بنسبة واحدة

وفى التحرك المنتظم تكون القوة مناسبة لجسم الجسم مضروبا فى السرعة
واذا تحركت الاجسام بدون مقاومة فن حيث كونها متحركة فى فراغ عظيم
تكون باول دفعة مستمرة على تحركها بسرعة واحدة فى اتجاه واحد
ولكن يعرض على الارض فى كل وقت كثير من الموانع والاحتكاكات
والمقاومات فتمنع دوام تحرك تلك الاجسام
فاذا تحرك الجسم تحركا ما نجد ان هذا التحرك ينقص بالتدريج ويؤول
امره الى الانعدام
مثلا اذا لعب اناس بالكرة فلولا احتكاك الارض ومقاومة الهواء لكانت
هذه الكرة بمجرد طرحها على مستو افقى تتدحرج بدون أن تنقص سرعتها
لكن لا يخفى أن هذه السرعة تنقص على المستويات المصقولة وان بلغت
فى الصقالة ما بلغت وتنعدم فى اسرع وقت
وعليه فيلزم لاجل استمرار التحرك بالنسبة للفنون أن يضاف فى كل وقت
الى قوة الاجسام المتحركة قوى جديدة
مثلا اذا كان المطلوب نقل احمال فى الطرق فلا يكفى فى ذلك أن تحرك
هذه الاجسام مطلق تحرك بل يلزم تعويض ما انعدم بالمقاومات فى كل وقت
وهو الذى يمكن تحصيله بواسطة الناس او الحيوانات المعدة لجر تلك الاحمال
وتكون كمية القوى التى يلزم استعمالها فى كل وقت مساوية بداهة للقوى
المعدومة فى الوقت المذكور وينبغى أن نعتبر أن مجموع ازدياد القوى المستعملة
فى النقل عقب زمن معلوم مساو لمجموع القوى المعدومة بالمقاومات
فعلى ذلك اذا مشى انسان بقوة مستمرة زمنا معلوما فمجموع القوى
المستعملة فى هذا الزمن يكون دالا على مجموع القوى المعدومة
ويؤخذ من ذلك ان تصرف القوى يكون على حسب المسافة فى الكبر
فاذا كان التحرك منتظما من جميع جهاته كانت القوى المستعملة لتحصيله
فى زمن معلوم مناسبة لهذا الزمن تناسبا مطردا
ولننبه حينئذ على الفاصل الفائق الحاصل من جهة بين التحركات التى يمكن

وجودها

وجودها فى الفراغ بدون نوع ما من الاحتكاك والحاصل من جهة اخرى بين التحركات الحادثة منا على الارض فنقول اذا اردنا معرفة مسافة سير الكواكب السيارة اوذوات الذنب او اى جرم فى السماء وكان هذا التحرك حاصلا بنفسه فانه يكفى اخذ زنة هذه الكواكب السيارة اوذوات الذنب او الجرم المذكور لاجل ضرب ثقل ذلك فى السرعة و يكون الحاصل باقيا على حالة واحدة فى اى مسافة للنقل لانه لا يحتاج الى صرف قوى جديدة لاجل استمرار النقل المذكور الا انه فى الارض ينبغى أن يضاف الى هذا المجموع الاول على الارض مجموع آخر يدل على القوى المعدومة فى كل وقت فاذا اخذ هذا المجموع الاخير فى الازدياد دائما فانه يفوق المجموع الاول حتى يمكن اهماله وحينئذ يقال كما يقول متعهدو النقل ان اجرة النقل تكون مناسبة للمسافات المقطوعة مالم يكن هنالك مانع وليست هذه الملحوظات خاصة بالنقل بل تعمه هو واغلب ما يعرض للآلات من التحركات الناشئة عن القوى المتنوعة وسيأتى لك توضيح ذلك خصوصا فى الجزء الثالث من هذا الكتاب عند الكلام على استعمال القوى المحركة

وقد ذكرنا ان القوة المنفردة دون غيرها من القوى تحدث التحرك دفعة واحدة لجسم معلوم ولنفرض ان هذه القوة يتجدد تأثيرها فى خلال الازمنة المتساوية .

ولنرمز بحرف $\overline{هـ}$ الى المسافة المقطوعة بالجسم وبحرف $\overline{ع}$ الى سرعة هذا الجسم وبحرف $\overline{ط}$ الى الزمن المعد لقطع مسافة $\overline{هـ}$ بسرعة $\overline{ع}$

وفى مبدء وحدة الزمن الثانية تضعف القوة التى تكرر فعلها سرعة الجسم مثنى فيقطع فى مسافة زمن $\overline{ط}$ الثانى مسافة تساوى $\overline{٢\ هـ}$.

وفى مبدء وحدة الزمن الثالثة تضعف القوى التى تكرر فعلها ايضا سرعة الجسم ثلاث فيقطع فى مسافة زمن $\overline{ط}$ الثالث مسافة تساوى $\overline{٣\ هـ}$

وهلم جرا

فاذن يحدث معنا للاوقات المختلفة

زمن $\overline{ط}$ الثاني زمن $\overline{ط}$ الثالث زمن $\overline{ط}$ الرابع زمن $\overline{ط}$ الميمي

سرعة مكتسبة ٢ $\overline{ن}$ سرعة مكتسبة ٣ $\overline{ن}$ سرعة مكتسبة ٤ $\overline{ن}$ سرعة مكتسبة م $\overline{ن}$

مسافة مقطوعة ٢ $\overline{هـ}$ مسافة مقطوعة ٣ $\overline{هـ}$ مسافة مقطوعة ٤ $\overline{هـ}$ مسافة مقطوعة م $\overline{هـ}$

فيكون مجموع المسافات التي عددها $\overline{م}$ المقطوعة بالجسم في زمن $\overline{ط}$ تساوي بالبداهة

$$\overline{هـ} + ٢\overline{هـ} + ٣\overline{هـ} + ٤\overline{هـ} + \cdots + م\overline{هـ}$$

ولا مانع من استعمال الهندسة هنا ليتضح باحد اشكالها هذه الحواصل المنسوبة للقوى فنقول

ليكن (شكل ١). مستقيم $\overline{وس}$ الرأسي مقسوما الى مسافات متساوية تدل كل واحدة منها على وحدة زمن $\overline{ط}$ ومستقيم $\overline{وص}$ الافقي مقسوما ايضا الى مسافات متساوية تدل كل واحدة منها على مسافة $\overline{هـ}$ المقطوعة مدة زمن $\overline{ط}$ الاول فاذا وصلنا بين نقط التقسيم بمستقيمات افقية ورأسية حدث عن ذلك سلالم طول كل واحدة منها مسافات $\overline{هـ}$ و ٢ $\overline{هـ}$ و ٣ $\overline{هـ}$ و ٤ $\overline{هـ}$ الخ المقطوعة في مدة الازمنة المتوالية المساوية لزمن $\overline{ط}$ ويكون سطح درجاتها المختلفة

$\overline{وا} \times \overline{هـ}$ و $\overline{اب} \times ٢\overline{هـ}$ و $\overline{بث} \times ٣\overline{هـ}$ و $\overline{ثد} \times ٤\overline{هـ}$ الخ

لكن حيث كان $\overline{وا} = \overline{اب} = \overline{بث} = \overline{ثد}$ فاذا فرضنا عرض جميع الدرج مساويا للوحدة يكون سطح الدرج بالاختصار

$\overline{هـ}$ و ٢ $\overline{هـ}$ و ٣ $\overline{هـ}$ و ٤ $\overline{هـ}$ الخ

وسطح السلالم الكلي يدل على المسافة الكلية المقطوعة بالجسم

ولنفرض ان القوة الدافعة تؤول الى نصفها الا انها تضعف عدد دفعاتها

في زمن

فى زمن معلوم

و بحفظ وحدة الامتداد لاتكون درجات السلالم الجديدة (شكل ٢) التى تدل على هذا التحرك الجديد الانصف العرض وتصير ضعف السلالم المتقدمة وكذلك لا يكون للمسافات المقطوعة فى كل نصف زمن الا نصف الزيادة الاصلية غيران هذه الزيادة تكون ضعف الزيادة السابقة

ويمكن أن يفرض ان القوة الدافعة تكون محولة الى ثلث مقدارها الاصلى اوربعه (شكل ٣) او خمسه الخ لكن بتجديد دفعاتها ثلاث مرات اواربعا اوخمسا الخ بخلاف القوة الاصلية فانها لاتجدد الدفعات المذكورة الامرة واحدة وحينئذ تكون التحركات مبينة بدرجات عرضها محول الى ثلث العرض الاصلى اوربعه اوخمسه الخ ولا يكون ازديادطولها الا ثلث الازدياد الاصلى اوربعه او خمسه الخ

فاذا مددنا مستقيم وز من رأس السلالم الى نهايتها السفلى فانه يمر بجميع نقط ١ا ٢ب ٣جـ ٤د الخ التى تحدد اسفل درجات السلالم وعلى ذلك تكون المسافات المقطوعة عقب ازمنة

ط و ٢ط و ٣ط و ٤ط الخ

١ا و ٢ب و ٣جـ و ٤د الخ

ثم ان نسبة اضلاع وا ا‍ـى اذن لاتتغير متى اخذ نصف ضلع وا = ط ونصف ضلع ا‍ـى = هـ وثلث وا وثلث ا‍ـى وربع وا وربع ا‍ـى لاجل عمل سلالم (شكل ٢) (وشكل ٣) الدالين على التحركات التى تقدم ذكرها

ولا يتغير اتجاه وا و ب و جـ و د الخ متى فرض انتقاص مقدار القوة فى نسبة واحدة مع كثرة دفعاتها مدة زمن معلوم

فاذا تكاثرت الدفعات وكانت القوة صغيرة جدا فى كل دفعة واقتضى الحال انقسام وا = ط و ا‍ـى = هـ الى اجزاء متساوية دقيقة جدا فان وجهة سلالم ١ا و ٢ب و ٣جـ و ٤د الخ

(شكل ١) تكون مستقيما واحدا كمستقيم وز بحسب النظر (شكل ٤)
وحيث كان سطح سلالم و ١ ا ٢ ب الخ زس دالا على المسافة
الكلية المقطوعة بالجسم مدة الزمن المبين بخط وس يكون فى هذه الحالة
سطح المثلث وس ز (شكل ٤)

وحيث ان السرعة مناسبة للمسافة المقسومة على الزمن (المجعول هنا وحدة)
فان اطوال درجات ١١ و ب ب و ث ج تكون دالة
على السرعة المتعددة المكتسبة من الجسم عقب زمن مساو لكل من ١ ط
و ٢ ط و ٣ ط الخ

فاذن تكون هذه السرعة باقية على حالة واحدة عقب زمن واحد بفرض ان
القوة المحولة الى $\frac{1}{2}$ و $\frac{1}{3}$ و $\frac{1}{4}$ و $\frac{1}{5}$ الخ
تؤثر فى الجسم مرتين او ٣ او ٤ او ٥ الخ بخلاف القوة الاصلية
فانها لا تؤثر فيه الا مرة واحدة

واذا كان عدد الدفعات عظيما جدا مدة زمن معلوم وكان لا يمكن تمييز توالیها
بسبب تغير السرعة المتعددة على حين غفلة فان مستقيم وز (شكل ٤)
و (شكل ٥) يدل كما ذكر على السرعة المكتسبة متى دل وس على الازمنة
الماضية وسطح السلالم الذى يكون حينئذ سطح مثلث وس ز يدل على
المسافات المقطوعة وبناء على ذلك تكون السرعة المكتسبة مبينة بطول
س ز وكذلك المسافة المقطوعة تكون مبينة بسطح وس ز وذلك
عقب الزمن المرموز اليه بخط وس

فاذا رمزنا بحرف ط و ط الى الزمنين المبينين بخطى وسـ
و وس (شكل ٥) ورمزنا بحرفى ع و ق الى السرعتين
المبينتين بخطى سـز و س ز ثم بحرفى هـ و ه الى المسافتين
المبينتين بسطح مثلثى وسـز و وس ز فانه يحدث عن ذلك

وسـ : وس :: سـز : س ز
او ط : ط :: ع : ق

وحينئذ

وحينئذ تكون في التحرك المعتبر عندنا سرعتا $\overline{ق}$ و $\overline{ق}$ المكتسبتان عقب زمني $\overline{ط}$ و $\overline{ط}$ مناسبتين لهذين الزمنين

وزيادة على ذلك بمقتضى الدرس الخامس من الهندسة يكون

سطح $\overline{وسز}$: سطح $\overline{وسز}$ :: $\overline{وس}^2$: $\overline{وس}^2$

او $\overline{هـ}$: $\overline{هـ}$ :: $\overline{ط}^2$: $\overline{ط}^2$

فاذن تكون المسافات مناسبة لمربعات الازمنة المعدة لقطعها

وعليه فيقال حيث كانت الازمنة ١ $\overline{ط}$ و ٢ $\overline{ط}$ و ٣ $\overline{ط}$ و ٤ $\overline{ط}$ و ٥ $\overline{ط}$ و ٦ $\overline{ط}$ الخ

فان المسافات المقطوعة تكون ١ $\overline{هـ}$ و ٤ $\overline{هـ}$ و ٩ $\overline{هـ}$ و ١٦ $\overline{هـ}$ و ٢٥ $\overline{هـ}$ و ٣٦ $\overline{هـ}$ الخ

وحيث كان في مثلثي $\overline{وسز}$ و $\overline{وسز}$ المتشابهين ∵

سطح $\overline{وسز}$: سطح $\overline{وسز}$ :: $\overline{سز}^2$: $\overline{سز}^2$

او $\overline{هـ}$: $\overline{هـ}$ :: $\overline{ق}^2$: $\overline{ق}^2$

فالمسافات المقطوعة في ازمنة معلومة تكون حينئذ مناسبة لمربعات السرعة المتعددة المكتسبة في نهاية هذه الازمنة

وبناء على ذلك

ففي عقب ازمنة ١ $\overline{ط}$ و ٢ $\overline{ط}$ و ٣ $\overline{ط}$ و ٤ $\overline{ط}$ و ٥ $\overline{ط}$ و ٦ $\overline{ط}$ الخ

تكون السرعة المكتسبة ١ $\overline{ق}$ و ٢ $\overline{ق}$ و ٣ $\overline{ق}$ و ٤ $\overline{ق}$ و ٥ $\overline{ق}$ و ٦ $\overline{ق}$ الخ

والمسافات المقطوعة ١ $\overline{هـ}$ و ٤ $\overline{هـ}$ و ٩ $\overline{هـ}$ و ١٦ $\overline{هـ}$ و ٢٥ $\overline{هـ}$ و ٣٦ $\overline{هـ}$ الخ

فاذا فرض انه في عقب زمن $\overline{ط}$ المبين بخط $\overline{وس}$ (شكل ٥) بطل عمل القوة الدافعة من اول وهلة فان الجسم يتحرك بسرعة $\overline{ق}$ الثابتة المبينة بخط $\overline{سز}$ وحينئذ تكون الخطوط الافقية المتساوية وهي $\overline{سز}$ = $\overline{سز}$ = $\overline{سز}$ دالة على هذه السرعة الثابتة

وسطح مثلث $\overline{وسز}$ يدل على المسافة الكلية المقطوعة مدة زمن $\overline{ط}$ بعدة قوى دافعة صغيرة جدا تأثيرها ثابت على الدوام

وسطح مستطيل $\overline{سززس}$ الذي هو ضعف مثلث $\overline{وسز}$ يدل

على المسافة الكلية المقطوعة مدة زمن ثان مرموزله بحرف ط بسرعة ثابتة مكتسبة عقب زمن ط الاول

وعلى ذلك اذا جددت قوة ثابتة صغيرة جدا دفعاتها فى مسافات صغيرة متخللة بين ازمنة متساوية فان المسافة الكلية التى قطعها الجسم بتلك القوة فى مدة زمن ط تكون نصف المسافة التى كان يقطعها هذا الجسم فى نفس زمن ط لولم تجدد القوة المذكورة دفعاتها

(بيان التثاقل)

قد دلت الطبيعة على مثال عظيم متعلق بالتكرار المستمر الحاصل من القوة الدافعة الثابتة وهى ان لجميع الاجسام انجذابا وميلا الى مركز الارض فتكون القوة المذكورة محسوسة متى منعت عن جذب الجسم المطلوب نقله وتكون قوة التثاقل فى كل وقت معدومة بمقاومة الجسم ثم تتجدد ثانيا وقتا بعد آخر بتأثير مستمر واحد

وعليه فجميع النتائج المتحصلة بواسطة القوى التى تجدد دفعاتها كل وقت توافق ايضا قوة التثاقل

وحينئذ اذا سقط جسم بدون معارض ولا مانع حدث عن ذلك اربع حالات

(اولا) ان السرعة المكررة المكتسبة تكون مناسبة للازمنة المعدة لاكتسابها

(ثانيا) ان المسافات الكلية التى يقطعها الجسم المذكور تكون مناسبة لمربعات الأزمنة المعدة لقطعها

(ثالثا) ان تلك المسافات الكلية المقطوعة تكون مناسبة لمربعات السرعة المكررة المكتسبة بالجسم عقب كل مسافة مقطوعة

(رابعا) اذا اخذ الجسم عقب زمن معلوم سرعة ثابتة مساوية للسرعة التى اكتسبها فى هذا الزمن بعينه فانه يقطع مسافة كلية ضعف المسافة التى قطعها وذلك مع ازدياد سرعته بالتدريج

وفى اى مكان من الارض تكون المسافة التى يقطعها الجسم عند سقوطه

فى اول

فى اول ثانية مساوية ٩٠٤٣٩٧٥ ر ٤ م فلا مانع حينئذ من ان سرعته المكتسبة فى عقب الثانية تجبره على قطع ضعف تلك المسافة مع الانتظام

بمعنى انها تكون مساوية ٨٠٨٧٩٥ ر ٩ م فى الثانية الواحدة

وفى عقب ١٠ ثوان تكون المسافة التى يقطعها الجسم عند وقوعه بدون معارض مساوية ١٠٠ مرة للمسافة التى يقطعها مدة الثانية الواحدة

اى انها تساوى ٤٣٩٧٥ ر ٤٩٠ م وتساوى ايضا فى الدقيقة الواحدة

١٧٦٥٥ ر ٨٣١ م

ولابد للاجسام الساقطة من شئ عظيم تصل به سرعتها الى هذه الدرجة وذلك لمقاومة الهواء لها (كما سيأتى فى استعمال القوى المحركة المذكورة فى الجزء الثالث)

(تطبيق)

اذا لم تكن المسافات المعدة للقطع كبيرة جدا واستعملت اجسام كبيرة جدا فانه يمكن بواسطة الآلة الحسابية الدالة على اخماس الثانية الواحدة قياس عمق البئر وارتفاع الحائط والقبة ونحو ذلك قياسا تقريبيا مستعملا فاذا خلى الجسم ونفسه للوقوع وعدت الثوانى وكسورها التى يقطع بها الجسم المذكور

هذه المسافة فان مربع هذا العدد يضرب فى ٩٠٤ ر ٤ م الخ ويكون حاصل ذلك هو المسافة المقطوعة

ولننبه على مابين الهندسة والميكانيكا من الارتباط الذى يعلم به ارتفاع عمارة او عمق معدن بواسطة النظر فى الساعة ويعلم به ايضا طول زمن مضى بواسطة قياس المسافة قياسا بسيطا فنقول قد استبان من البندولات مثال شهير فى شأن الارتباط الحاصل بين العلمين المذكورين اللذين جمعت قواعدهما ونتائجهما لتتضح بها سبل الصناعة وتسهل مزاولتها

فاذا عرفت ما نذكره لك فى شأن تأثير ايدى الاهوان وآلات الدق وضرب

النقود والمطارق ونحو ذلك اتضح لك انهم توصلوا بواسطة الفنون الى تطبيق قوانين سقوط الاجسام وتوسيع دائرتها والاهتمام بشأنها تطبيقا مفيدا وان معرفة هذه القوانين مما لابد منه

ولنفرض انه حين شروع التثاقل فى اندفاعاته المتكررة كل وقت يكتسب الجسم سرعة ما وفى ذلك ثلاث صور

الصورة الاولى اذا كانت السرعة الاصلية متجهة جهة التثاقل فحيث كانت ثابتة فانها تنضم الى السرعة المتعددة الحادثة من التثاقل المذكور

وفى هذه الصورة يطلق على التثاقل بالنظر للاجسام التى تزداد سرعتها وتسير مع العجلة فى كل وقت اسم القوة المعجلة

الصورة الثانية اذا كانت السرعة الاصلية متجهة الى جهة مضادة لجهة التثاقل فان هذا التثاقل ينقص السرعة المذكورة فى كل وقت وحيث كان التثاقل المذكور يعطل سير الجسم بلا انقطاع اطلق عليه اسم القوة المعطلة البطيئة

مثلا اذا اطلقنا طبنجة من اعلى الى اسفل فان الرصاصة الخارجة منها تقع فى مبدء الامر بالسرعة الحادثة لها من البارود المشتعل ثم تزداد هذه السرعة بتأثيرات التثاقل المتكررة المشابهة لتأثير القوة المعجلة

واذا اطلقنا طبنجة من اسفل الى اعلى فان الرصاصة ترتفع فى مبدء الامر بالسرعة الحادثة لها من البارود المشتعل غير ان تحركها يتعطل فى كل وقت بما يحدث عن التثاقل من التأثير المتجدد المشابه لتأثير القوة المعطلة

وفى عقب زمن ما كان تبطل سرعة الرصاصة الاصلية بتأثير التثاقل المتضاد فتمكث هذه الرصاصة ساكنة زمنا ثم تهبط بتأثير التثاقل من الوضع الذى كانت فيه وهى ساكنة ويستمر التثاقل على ذلك كقوة معجلة

وفى هذا التحرك الجديد تزيد قوة التثاقل فى كل وقت بكمية من التأثير مساوية بالضبط للكمية المنقوصة مدة صعود الرصاصة وعليه ففى مدة الزمن المذكورة تقطع الرصاصة مسافات متساوية قبل الوقت الذى تصل فيه

الى

الى اقصى درجة من الارتفاع وكذلك بعده سواء كانت صاعدة اوهابطة وتكون مصحوبة دائما بسرعتها المكتسبة اذا وصلت الى ارتفاع واحد سواء كانت صاعدة اوهابطة أيضا

ويجب حفظ ماذكرناه لانه من اعظم قواعد علم الميكانيكا فائدة وسيأتى لك مايدل على اهمية تطبيقاتها المتعددة على الصناعة

والسرعة المعدومة بالرصاصة الصاعدة مناسبة للزمن الماضى منذ اطلاقها ونقصان المسافة المقطوعة بالرصاصة المذكورة مناسب لمربع هذا الزمن

والسرعة المكتسبة بالرصاصة الهابطة مناسبة للزمن الماضى منذ شروعها فى الهبوط والمسافة المقطوعة بالرصاصة المذكورة بواسطة التثاقل مناسبة لمربع هذا الزمن

وتطلق القوى البسيطة على القوى التى لاتؤثر فى الجسم الامرة واحدة وبها تكون المسافات المقطوعة مناسبة للسرعة الثابتة المتعددة

وتطلق القوى النشاطية على القوى المعجلة اوالمعطلة التى يكون قياسها معلوما من مربع السرعة المكتسبة المتعددة

واى وضع وجد فيه الجسم مدفوعا باى سرعة كانت فانه اذا هبط مدة زمن $\overline{ط}$ اكتسب سرعة $\overline{ع}$ المناسبة لزمن $\overline{ط}$ المذكور وعليه اذا كان $\overline{م}$ رمزا لجسم هذا الجسم فانه يكتسب كمية من التحرك تساوى $\overline{م} \times \overline{ع}^{٢}$ وهذه الكمية هى مقدار القوة النشاطية من $\overline{م}$

فاذا اوقعنا جسما ليكتسب قوة يمكن استعمالها فيما بعد فى اشغال الصناعة فانه يستدل على كمية القوى التى يجمعها بضرب جسمه فى سرعته المكتسبة وذلك فى عقب

١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ . . . . الخ من الثوانى

١ ، ٤ ، ٩ ، ١٦ . . . . الخ $\overline{م} \times$ ٩٫٨٠٨٧٩٥ م

فاذا اخذت هذه المقادير من الشمال الى اليمين ادت للجسم الهابط القوة النشاطية

المتزايدة واذا اخذتها من اليمين الى الشمال ادت للجسم الصاعد القوة النشاطية المتناقصة

والفاضل بين هذه القوى هو عين الفاضل بين الارتفاعات سواء كانت القوى المذكورة صاعدة او هابطة

وحينئذ اذا وقع جسم بدون معارض بقوة نشاطية مكتسبة من ابتداء نقطة آ الى نقطة بَ او حذف هذا الجسم من اسفل الى اعلى بالقوة المذكورة فانه يرتفع من بَ الى آ قبل أن تبطل قوة التثاقل المعطلة جميع ما تحصل منها فى مبدء الامر عند تنزيلها للجسم المذكور

ومن ثم يعلم انه لا يمكن استخراج فائدة من القوة المكتسبة بالجسم الهابط ليصعد بها اعلى من نقطة مبدء سيره ولا من القوة المعدومة بالجسم الصاعد لتزداد قوته بواسطة سقوطه اذا اقتضى الحال رجوعه الى نقطة مبدء سيره

وهذه الحقائق فى غاية السهولة ومع ذلك اذا تفطن اليها العقل حاد بها عن الوقوع فى الاختلاطات والتراكيب الفاسدة والمباحث الخالية عن الفائدة المتعلقة بالتحرك الدائم

فاذا كان هناك جسم ساكن ووقع عليه تأثير الهواء كان هذا التأثير قوة دافعة له تتجدد دائما حتى يكتسب سرعة مساوية لسرعة الهواء المذكور لكن كلما اكتسب الجسم المذكور سرعة اكبر من الاولى حصل له من الهواء دفعة غير قوية وعليه ففى هذه الحالة لا تكون القوة المعجلة ثابتة وكذلك لا تكون القوانين المحكمة المنتظمة لنسب الزمن مع السرعة المتكررة والمسافات المقطوعة اسهل من القوانين التى ذكرناها وبينا تطبيقها على التثاقل

(وسيأتى ان قوة التثاقل لا تكون ثابتة على ابعاد متنوعة من مركز الارض)

واذا فرضنا ان جسما يتحرك فى الهواء الساكن او فى اتجاه مضاد لاتجاه الهواء فانه بمجرد ازدياد سرعته يحصل له من الهواء مقاومة متزايدة وعليه فلا يكون الهواء مؤثرا كالقوة المعطلة الثابتة فقط بل يكون مؤثرا كالقوة المعطلة المتزايدة

وسيأتى

وسيأتى لهذه الملحوظات التى ذكرناها هنا على وجه اجمالى مزيد توضيح عند تعريف طبيعة قوة الهواء الخاصة وبيان تطبيقها على الصناعة (فى الجزء الثالث من هذا الكتاب عند ذكر القوى المحركة المطبقة على الصناعة)

هذا ولم يبق علينا الا الصورة الثالثة ولنذكرها هنا فنقول ان هذه الصورة هى التى تكون فيها القوة الاصلية متجهة الى جهة مخالفة لتأثير القوى المعجلة او المعطلة وحينئذ لا يقطع الجسم خطا مستقيما وانما يرسم منحنيا تكون خاصيته وانحناؤه على حسب تأثير القوى المعجلة او المعطلة وشدة تلك القوى

ولا نذكر هنا الا قوتين وهما قوة الهواء وقوة التثاقل اللتان يؤثران فى تحرك الاجسام سرعة او بطأ واما الصناعة فيستعمل فيها جملة عظيمة من القوى الاخر بل انها تبطل مقاومة ماشابههما من القوى لاجل تحصيل النتائج المطلوبة وقد تقدم الكلام على بعض تلك القوى ولنرجع الى ما نحن بصدده فنقول

اذا كان هناك سفينة متحركة على الماء فان تحركها يكون بقوة مستمرة تنقلها من حالة السكون حتى تصل الى غاية ما يمكن من السرعة فيلزم أن تبطل بالتدريج مقاومات الماء الشبيهة بتأثير القوة المعطلة ولا تصل الى حالة التحرك المنتظم او المنتسق الا اذا كان ما ينعدم من السرعة بتأثير القوة المعطلة مساويا لما يتجدد من السرعة عن القوة الدافعة التى يفرض تجدد تأثيرها فى كل وقت تساويا مضبوطا

وقد امتازت القوة الدافعة عن غيرها من القوى فى انواع الآلات بكون تأثيرها يزيد فى كل وقت بكمية معلومة لاجل ابطال المقاومات التى تتجدد فى كل وقت لابطال هذه الكمية بعينها

فتى اخذت آلة فى التحرك فانما تظهر بالقوة الدافعة على القوة المعطلة فينشأ من ذلك استمرارها على هذا التحرك وهو الذى يزداد بالتدريج حتى يصل الى الدرجة التى يكون ما ينعدم فيها من السرعة فى كل وقت بالمقاومات مساويا لما يتجدد منها اى السرعة بالقوة الدافعة وبالوصول الى هذه الدرجة يكون

تحرك الآلة منتظما او منتسقا وهذا التحرك هو الجارى فى الاشغال العادية من اشغال الصناعة

وللتحركات الاولية المتغيرة مزية على غيرها فى تحرك الآلات وهى ان سرعتها فى مبدء الامر تكون معدومة ثم تتجدد وتزداد بالتدريج حتى تصل الى السرعة الثابتة المستعملة فى الاشغال المستمرة

هذا ولم نبد هذه الملحوظة لمجرد الرغبة فيها بل لكونها ضرورية فى فهم تحرك الآلات فانه فى مبدء التحرك يكون جزء من القوة الدافعة معدا لان يحصل به لكل من اجزاء الآلة درجة من السرعة الموافقة لحالة الشغل العادى الثابتة وعليه فيلزم ان تلك القوة ينعدم بها اولا انرسى الآلة (اى سكونها) وثانيا اوائل مقاومات القوى المعطلة لانه اذا اعطى للآلة المذكورة من اول وهلة قوة ثابتة مع السرعة اللازمة لها فى حال تحركها الاعتيادى لزم لذلك قوة وقتية عظيمة جدا حتى تبطل دفعة واحدة المقاومات الخاصة بهذه الآلة والمقاومات الحادثة من انرسى اجزاها وبذلك يخشى على الاجزاء المذكورة فانها ان لم تتكسر وتتلف تضعف صلابتها وسنذكر فى الكلام على تحرك الطارات المضرسة مثالا شهيرا نعلم به اهمية ما ذكر

(الدرس الثالث)

(فى بيان القوى المتوازية)

لا يخفى اننا الى الآن لم نذكر الا القوى المتجهة على مستقيم واحد وسبق ان عملها يزيد وينقص على حسب تأثيرها فى جهة او اخرى تقابلها

فاذا كانت القوى لا تؤثر على مستقيم واحد فقط بل على مستقيمات متوازية فانه يحصل عن ذلك تأثير كتأثير القوى المتقدمة

مثلا اذا كان فرسان يجران عربة فى قطار واحد على مستقيم واحد كان تأثيرهما عين تأثير فرسين مشدودين بجانب بعضهما ويجران ايضا بالتوازى وكذا ثلاث افراس مربوطة فى قطار واحد ومتجهة على مستقيم واحد يكون تأثيرها عين تأثير ثلاثة اخرى مشدودة بجانب بعضها وجارة بالتوازى

وهلم جرا

فاذن يحدث من القوى المتوازية العديدة المتحدة الجهة عين التأثير الذى يحدث من قوة واحدة تساوى مجموع تلك القوى وتجر فى اتجاه واحد وهى المعروفة بمحصلة تلك القوى

فاذا كان هناك قوى متوازية تجذب الى امام واخرى مثلها تجذب الى خلف وحولت الاول الى قوة واحدة مساوية لمجموعها والاخر الى قوة واحدة مساوية لمجموعها ايضا فان القوة المحصلة الكلية تكون مساوية لفاضل المجموعين ومتجهة جهة اكبرهما

وقد ذكرت لك هذه النتائج الثابتة بالتجربة لما ان استعمال هذه الكيفية اولى من اقامة براهين غير جلية لا تقنع ارباب القرائح الجيدة فلو قلنا مثلا كما يقول بعض مؤلفى الاصول الاولية انه يلزم اعتبار قوتين متوازيتين فى الاتجاه كالمتقاطعتين فى نقطة واحدة تقاطعا غير محدود ولهما اتجاه واحد غير محدود ايضا وآثرنا التعبير بهذه الطريقة لما ذكرنا لك فى الحقيقة الاشياء غامضة قليلة الوضوح

ومما يسهل مشاهدته ان لمحصلة القوى المتوازية اتجاها واحدا مع القوى المتركبة منها وانها تساوى مجموع ما كان منها يجذب الى امام ناقصا مجموع ما كان منها يجذب الى خلف وانما يصعب أن يشاهد فى جميع الحالات وضع المحصلة الحقيقى ومعرفته متوقفة على مراجعة الهندسة

وذلك ان الهندسة تبين بواسطة الخطوط المناسبة زيادة عن المسافات المقطوعة او المعدة للقطع والمسافات المشغولة بالآلات ومحمولات الصناعة اصولا ميكانيكية يظن انه لا علاقة بينها وبين علم الامتداد ويجب مزيد الالتفات الى هذا الغرض المهم

وبالجملة فلا علاقة بين مدة الزمن وطول الخط الا ان الزمن ينقسم الى اجزاء متساوية كالساعات مثلا وتنقسم الساعات ايضا الى اجزاء متساوية كالدقائق والثوانى وغير ذلك والخط المستقيم او المنحنى ينقسم ايضا الى اجزاء متساوية مميزة بارقام ١ و ٢ و ٣ الخ كالساعات التى تتعاقب فى السير من وقت

معين وينقسم كل جزء من تلك الاجزاء الى اجزاء متساوية بقدر مافى الساعة من الدقائق وهذه التقسيمات الجديدة تدل على دقائق كل ساعة فاذا قسمنا اجزاء الخط الجديدة تقسيما ثانويا بقدر مافى الدقيقة من الثوانى فان التقسيمات الحادثة من ذلك تدل على الثوانى وهلم جرّا

فاذا وضعت النمرة بالارقام على هذه التقسيمات امكنك أن تستدل على الزمن اولا بالاعداد وثانيا باطوال الخطوط فاذا جمعت اجزاء الخط او طرحتها اوضربتها اوقسمتها كما تفعل ذلك فى اجزاء الزمن الدالة عليه كان بالبداهة الخط الاخير وهو حاصل جميع هذه العمليات دالا على الزمن الاخير المطلوب تقديره وهذه هى كيفية استعمال الهندسة فى الاستدلال بالخطوط على الزمن

ثم ان مينات الساعات صغيرة كانت او كبيرة على شكل دائرة منقسمة الى اثنى عشر جزأ متساوية تدل على الساعات ومنقسمة ايضا تقسيما ثانويا الى ستين جزأ متساوية تدل على الدقائق لكن لما كانت وحدة القياس مختلفة فى الدقائق والساعات لزم للساعة عقربان ليتبعا حركتيهما ولزم ايضا ان العقرب المعدّ للدقائق يكون اسرع فى السير من العقرب المعدّ للساعات باثنى عشرة مرّة

وفى المزاول الشمسية تكون مدّة الزمن مبينة ايضا باصول هندسية وهى الزوايا وذلك بان نمدّ من مركز المزولة مستقيما موازيا لمحور الارض ونفرض مستويا يمر بكل من المستقيم المذكور ومركز الشمس ويدور دورانا منتظما * والزوايا التى تقيس تحركه تكون ايضا قياسا للمسافات المقطوعة

وكل من السرعة والزمن قابل للاستدلال عليه بالخطوط وحينئذ تكون ارتفاعات ا و ا ب و ب ث المبينة فى (شكل ١ من الدرس الثانى) دالة على الازمنة الماضية * ومايكتسبه الجسم من السرعة المتكررة يستدل عليه بمستقيمات اا و ب ب و ث ج الخ المتوازية وحينئذ فيستدل على المسافات المقطوعة بالسطوح كما تقدم

ومتى اريد الاستدلال على المسافات المقطوعة بخطوط مناسبة لها وعلى الازمنة بخطوط ايضا كانت السرعة المتكررة هى النسب الحاصلة بين هذه

الخطوط

الخطوط فاذن لا يستدل عليها من الآن فصاعدا الا بالاعداد

واما القوى فانها ليست من جنس الزمن ولا السرعة ولا المسافة لكنها عوارض تستعمل الزمن لسير الاجسام من مسافة معلومة فى زمن معلوم بسرعة معلومة

فيمكن أن يستدل على القوى بخطوط مناسبة لها ومتجهة اتجاهها كما استدل بها على الازمنة والسرعة المتكررة والمسافات

وهذه القضايا واضحة سهلة اذ بها يظهر لك من اول وهلة اعظم فوائد علم الهندسة وانما احتيج الى هذا العلم هنا لتسهل به معرفة الميكانيكا ولاجل استحضار ومعرفة حقائق الاشياء وان كان لا وجود لها فى الظاهر بحيث يمكن ادراكها بالحواس كالزمن فانه لا يمكن رؤيته ولا لمسه ولا سماعه وانما يمكن رؤية الخطوط والنقط والارقام المرسومة على المزولة ويؤخذ من ذلك ان الاشياء تكون مشاهدة دائما بواسطة الهندسة وبها يمكن قياس الزمن •

وكذلك لا يمكن رؤية ثقل الجو ولا سماعه ولا لمسه وانما يمكن رؤية تقاسيم المستقيم المرسوم بقدر طول البارومتر (وهو ميزان الهواء) الذى تعرف به تغيرات ثقل الجو ويتوصل بالهندسة الى ادراك ذلك كله بالحواس

ولا يمكن ايضا الحكم بمجرد النظر على الضغط الحادث عن البخار فى قدر من آلة البخار وانما يمكن بواسطة المانومتر (وهو ميزان الابخرة) الذى هو كناية عن بارومتر بخارى أن يستدل على هذا الضغط بخط منقسم الى اجزاء متساوية وسيأتى لك ذلك فى الجزء الثالث من هذا الكتاب عند ذكر القوى المحركة

فلا غرو حينئذ فى الاستدلال على القوى بخطوط مستقيمة * واتجاه هذه الخطوط هو عين الاتجاه الذى يتبعه الجسم الواقع عليه تأثير القوة المبينة بما تقدم * وطول الخط يدل على مقدار القوة ولنرجع الى ما نحن بصدده وهو القوى المتوازية فنقول

متى كان القوتان المرموز اليهما بمستقيمى $\overline{اس}$ و $\overline{بص}$ (شكل ١) جاذبتين لمستقيم $\overline{اب}$ العمودى عليهما كان قضيب $\overline{شر}$ المربوط

بمنتصف ا ب والموازى لهاتين القوتين والموضوع على وجه منتظم بالنسبة لهما دالا بالبداهة على اتجاه محصلتهما وبالجملة فحيث كانت قوة اليمين ليست اكبر من قوة الشمال فلا داعى لان تكون المحصلة اقرب الى اليمين من الشمال اوالى الشمال من اليمين

فاذا كان هنالك ثلاث قوى جاذبة بالتوازى لمستقيمات اس و ب ق و ث ز (شكل ٢) وموضوعة على بعد واحد من بعضها فان المحصلة تقع فى ب ق وهلم جرا وهاتان الصورتان يجريان فى كثير من عمليات النقل بالعربات

مثلا اذا جر فرس واحد عربة بواسطة مجرين موضوعين وضعا منتظما على يمين منتصف العربة وشماله فانه يسحب بالسوية مجرى اليمين والشمال وعليه فينبغى أن تسير العربة الى الامام فى اتجاه مواز للمجرين المذكورين كما اذا كان الفرس لا يجر الا بواسطة حبل او جرار ثابت فى منتصف العربة

واذا كان هنالك فرسان جاذبان بجانب بعضهما فانهما يكونان على بعد واحد من نقطة المنتصف وهى غ (شكل ٣) وعلى ذلك تكون مجرات ط و طَ و طً و طٌ الاربعة موضوعة وضعا منتظما على يمين المنتصف وشماله وبيان ذلك اولا ان محصلة مجرى ط و طَ مساوية ط + طَ وواقعة على ٥ هـ فى منتصف كتف العربة وهو ا ب وثانيا ان محصلة مجرى طً و طٌ مساوية طً + طٌ وواقعة على ف ف فى منتصف الكتف الثانى للعربة وهو ث ذ وثالثا ان لقوتى هـ ٥ و ف ف محصلة وهى غ غ مساوية لمجموعهما وهو ط + طَ + طً + طٌ وموضوعة على بعد واحد من هـ ٥ و ف ف

وعلى ذلك يكون مستقيم غ غ المار بمنتصف العربة دالا فى الاتجاه على المحصلة الناتجة

ولنفرض أن هنالك قوتين متوازيتين وهما ا س و ب ص غير متساويتين وجاذبتين لقضيب ا ب (شكل ٤) والمطلوب معرفة وضع المحصلة

فلاجل

فلاجل ذلك نفرض أن سـاث صـث (شكل ٥) منشوران
اواسطوانتان متجانستان ومتحدتان في السمك والطول بحيث اذا انطبق احد
طرفيهما على الآخر كانا شاغلين لطول اب مرتين وهذا ما يمكن عمله دائما
فاذا تقرر هذا اتضح لك أن ثقل ثا سـ = س و ثـ صـ
= ص لا يتغيران اذا علق ث ا سـ و ث صـ من منتصفهما
تعليقا افقيا فحينئذ يوجد بين ا و ب اولا نصف طول الثقل الصغير
وثانيا نصف طول الثقل الكبير وعليه يكون مجموع نصفي الطولين المذكورين
مساويا لبعد اب فاذن ينطبق الثقلان على بعضهما ويكونان موضوعين
على وجه بحيث لا يتكون منهما الا ثقل واحد فاذا فرض انهما من مبدء الامر
متلاصقان فذلك لا يغير توازنهما لكن ثقل سـ صـ المتكون منهما المتحد
السمك في كل من طرفيه يكون بالبداهة متوازنا عند تعليقه من منتصفه بقوة
واحدة وليكن ث رمزا لهذا المنتصف فتكون محصلة قوتي س و ص
وهي ر مارة بنقطة ث المذكورة
فاذا فرض عكس طرفي اث ب بأن جعل احدهما موضع الآخر وكانت نقطة
ث موضوعة على ث حدث بالبداهة هذا التساوي وهو

$$\overline{\text{ـث}} = \overline{\text{اث}} = \overline{\text{ـص}}$$

$$\overline{\text{اث}} = \overline{\text{ـث}} = \overline{\text{اس}} \ .$$

وعلى ذلك تكون نقطة ث واقعة على نقطة ث في منتصف اب
فاذن ينبغي الوضع في ث على ابعاد متساوية من اس و ب ص
المناسبين لقوتي ب ص و اس لاجل تحصيل نقطة وقوع المحصلة
ولنذكر هنا مثالا في شأن هذه الحقيقة يتعلق بجر العربات بالخيول فنقول
يستعمل في ذلك غالبا هذه الطريقة وحاصلها انه اذا كان هنالك ثلاث افراس
وهي س و ص و ز (شكل ٦) مربوطة بجانب بعضها فان
الفرسين المرموز اليهما بحرفي ص و ز يكونان مربوطين بكتف العربة
وهو اب وتكون محصلتهما وهي ث ر مساوية لمجموع قوتيهما

وموضوعة فى منتصف ا ب وهذه المحصلة تقع مباشرة على قوة الفرس
الثالث وعليه فتوضع نقطة ه متزنين قريبا من ث ر و د س وهى
نقطة وقوع قوتى ث ر و د س وبناء على ذلك تكون ايضا نقطة لوقوع
المحصلة الناتجة منهما وهى خ وقد يكون ه خ متجها على محور العربة
الطولى

ولنفرض كما فى (شكل ٤) أن قوة ر = س + ص تفوق
على قوة ص قليلا قليلا حيث ان س تنقص كثيرا كثيرا فاذا فرض
فى مساواة ر × ب ث = س × ا ب أن ر و ب ث
لا يتغيران فلا خفأ انه كلما نقص س ازداد ا ب واذا كانت قوة س
محولة بالتوالى الى نصف طولها الاصلى او ثلثه او ربعه او غير ذلك لزم أن يكون
بعد ا ث مضعفا مثنى وثلاث ورباع وهكذا لاجل حفظ حاصل س × ا ب
واذا بلغ ا ب فى الكبر ما بلغ فانه يوجد دائما مقدار صغير لقوة س التى لا مانع
من مكافئتها للمساواة المتقدمة فاذن يفوق ر = س + ص
على ص بكمية يسيرة وهى س

و يحدث من ذلك القضية المشهورة وهى انه لا يمكن توازن قوتين كقوتى ص
و ر مع قوة ثالثة كقوة س متى كانتا متساويتين ومتوازيتين ومتجهتين
الى جهتين متضادتين واذا بلغت قوة س فى الصغر والتباعد ما بلغت فانها
لا تبلغ فى ذلك حد الكفاية

وحيث ان القوة الكلية لا يمكن أن توازن قوتين متساويتين ومتضادتين
ومتوازيتين يلزم أن لا يكون لهاتين القوتين محصلة كلية قابلة لان تسير الجسم
الى الامام على خط مستقيم فاذن يحدث عن هاتين القوتين المتساويتين
المتضادتين المتوازيتين على الجسم الواقعتين عليه تأثيرا آخر بدلا عن التأثير
الذى يسيره على مستقيم واحد وسيأتى الكلام على ما يكون للجسم من قوانين
التحرك الجديد فى الدرس الرابع بعد توضيح ما يتعلق بالتحركات الحادثة على
مستقيم واحد

لنرجع الى تاثير القوى المتوازية التى يمكن أن يكون لها محصلة ونذكر فى شانها قاعدة شهيرة فنقول

متى كان هنالك قوتان كقوتى س و ص واقعتان عموديا على قضيب ب (شكل ٧) فاذا انحرفتا بالسوية بشرط انه لا يتغير توازيهما فى س و ص كانت محصلتهما وهى ر المساوية لمجموعهما دائما واقعة على نقطة ث وحينئذ لا يكون لوضع نقطة الوقوع ولا لمقدار المحصلة تعلق بميل هاتين القوتين المتوازيتين بالنسبة للمستقيم الواصل بين نقطتى وقوعهما ثم ان هذه الخاصية وهى خاصية التعرك التى هى بحسب الظاهر فى غاية السهولة لها نتائج عظيمة وثمرات جسيمة فى علم الميكانيكا والصناعة ولنذكر الخواص الاصلية فنقول

اذا فرض ان هنالك ثلاث قوى متوازية كقوى س و ص و ز واقعة على ثلاث نقط ليست على مستقيم واحد (شكل ٨) وان أس و ب ص و ث ز دالة على اتجاهات تلك القوى كان القوتى س و ص فى مبدء الامر محصلة ر الواقعة على نقطة د والمساوية س + ص والموضوعة على وجه بحيث يحدث عنه هذا التناسب

دا : دب :: ص : س

ثم يكون لقوتى ر و ز محصلة ض = ر + ز = س + ص + ز فتكون نقطة الوقوع وهى ه لمحصلة ض موضوعة بحسب هذا التناسب

ده : ه ث :: ز : ر

فاذا تقرر هذا وتغير اتجاه جميع القوى بدون أن يتغير توازيها وكان وضع نقطتى د و ه غير متعلق باتجاه تلك القوى يلزم أن يكون هذا الوضع باقيا على حالة واحدة وعلى ذلك فى تغير اتجاه القوى المتوازية الواقعة على ا و ب و ث على اى وجه كان بحيث لا ينعدم توازيها فان نقطة وقوع المحصلة تكون دائما نقطة ه

فاذا كانت القوى اربعا او خمسا او ستا فان نقطة وقوعها لا تتغير ولو تغير اتجاه جميع القوى المركبة معا بشرط أن تكون باقية على توازيها

هذا و يمكن أن نعتبر الجسم كمجموع عدة اجزاء صغيرة مادية مندفعة جهة الارض بواسطة قوى اتجاهاتها متوازية تقريبا و يمكن اعتبار تلك الاجزاء كالقوى فى التوازى بدون خطأ بين

فاذا كان الجسم فى وضع وادير الى آخر واقتضى الحال البحث فى كل وضع عن نقطة وقوع القوة الكلية المحصلة من ثقل كل جزء صغير من الجسم فانا نجد دائما نقطة واحدة وهى نقطة شهيرة تعرف بمركز الثقل

و بواسطة التجربة تحقق من خاصية الاجسام عند تعليقها بخيط فى اتجاهات مختلفة و توازنها به فيكون هذا الخيط بالبداهة تابعا لاتجاه محصلة ثقل جميع اجزاء الجسم و يعلم من ذلك انه يكون دائما فى اتجاه مار بنقطة منفردة وهى مركز الثقل ،

ولخاصية مركز الثقل بالنظر الى الفنون فوائد عظيمة فى تحرك الاجسام ولنفرض أن جسما ذا شكل ما يتحرك على مستقيم واحد بدون أن يدور فكل من اجزائه الصغيرة التى يطلق عليها اسم العناصر يكون مدفوعا بقوة مناسبة اولا للسرعة المشتركة وثانيا لكمية المادة التى يحتوى عليها هذا العنصر وفى التحرك المستقيم الذى كلامنا فيه يتحرك كل عنصر على مستقيم واحد فيكون مدفوعا بقوة متجهة الى جهة هذا المستقيم ومناسبة اولا لجسمه وثانيا لسرعته

ولنفرض مثلا جسما طوله متر واحد فاذا جعلنا هذا الطول قاعدة لمثلث رأسه فى مركز الارض حدث عن ذلك مثلث ليست قاعدته جزأ من ستة من مليون من ارتفاعه ولا يحدث عن ضلعيه الطويلين الدالين على اتجاه التثاقل زاوية مساوية لجزء من مائة من الف من الدرجة الواحدة وهذه الزاوية لا يمكن قياسها باعظم الآلات مع الضبط والصحة

و لجميع هذه القوى المتقدمة محصلة واحدة موازية لاتجاهها المشترك ومساوية

بمجموعها ومارة بمركزها وهى هنا مركز ثقل الجسم

وعلى ذلك يتحرك الجسم بهذه المثابة اعنى يتبع مستقيما واحدا بدون دوران وذلك باحد شروط ثلاثة وهى

(اولا) أن يكون كل من عناصر الجسم مدفوعا بقوة واحدة مناسبة لجسم هذا العنصر ومتجهة الى اتجاه معلوم

(ثانيا) أن يكون الجسم كله مدفوعا بقوة واحدة موازية لاتجاه معلوم ومارة بمركز ثقل الجسم

(ثالثا) أن يكون مدفوعا بعدة قوى متوازية لها محصلة واحدة مارة بمركز ثقل هذا الجسم

فعلى ذلك اذا اريد منع الجسم الذى يسير الى الامام على مستقيم واحد عن التحرك بالكلية بواسطة قوة واحدة لزم أن يكون اتجاه هذه القوة مارا بمركز ثقل الجسم

واما اذا اريد منعه عن التحرك بواسطة عدة قوى فيلزم ان تكون محصلة هذه القوى مارة بمركز ثقله

وقد اثبتنا فيما سبق انه اذا علق او اسند جسم من نقطة واحدة فشرط التوازن أن يكون مركز ثقل الجسم ونقطة التعليق موجودين معا على مستقيم رأسى واحد ومتى اريد تعليق جسم فى وضع معين لزم أن نتوهم مستقيما رأسيا مارا بمركز ثقل ذلك الجسم ونضع نقطة الارتباط على الرأسى المذكور وسيأتى لك فى الدرس الذى نتكلم فيه على وضع مراكز ثقل المربع والمستطيل والمعين والدائرة والقطع الناقص ونحوها ان البراويز التى تعلق فى البيوت وتكون على شكل من هذه الاشكال لها نقطتا تعليق وارتباط موضوعتان مع مركز ثقلها على مستقيم رأسى واحد ومن هذا القبيل النجفات المعلقة فى قباب الكنائس وسقوف المقاعد والدلاء المربوطة بالحبال لاغتراف الماء والنزول فى المعادن

وبالجملة فمعرفة وضع مركز الثقل مما لابد منه للصناعية سواء وضعوا اجساما

ساكنة فى وضع معلوم اويسيروها على مستقيم واحد بدون دوران اوصنعوا تحرك الاجسام التى تسير بهذه المثابة

ثم ان جسم الانسان له مركز ثقل كغيره من الاجسام الا ان هذا المركز يتغير وضعه متى حرك الانسان عضوا من اعضائه اوحمل شيأما وذلك لان الحامل والمحمول معا يعتبر لهما مركز ثقل واحد تمر به محصلة ثقله وثقل حمله

فاذا وقف الانسان مع الاعتدال والاستقامة التامة (شكل ٩) (وشكل ١٠) امكن أن نعتبر اخمصيه كنقطتى وقوع القوى المتوازية المؤثرة من اسفل الى اعلا والدالة على قوة مقاومة الارض التى يكون بها هذا الانسان ولجميع قوى المقاومة محصلة واحدة رأسية واقعة على نقطة معلومة كنقطة ا

ولاجل توازن ذلك يلزم أن تكون المحصلة مارة بنقطة غ التى هى مركز ثقل الجسم الانسانى لان هذا الجسم بدون ذلك يكون مجذوبا الى الجهة التى يكون بها مركز ثقله ويكون محقق الوقوع مالم يبادر بتوصيل هذا المركز الى وضع محصلة قوى المقاومة الرأسى بأن يميل بعض اعضائه الى الجهة المقابلة لجهة السقوط

فاذن يلزم ان مركز ثقل الجسم الانسانى يعتبر كأنه يتغير فى كل وقت تقريبا بالتحركات التى تستدعيها حاجة الانسان اوحظه

ومن المهم فى الفنون المستظرفة وفى كثير من فروع الصناعة معرفة الاوضاع المتنوعة التى يمكن أن يأخذها مركز ثقل الانسان

فينبغى للمصورين والنقاشين أن يعرفوا هذه الاوضاع معرفة كافية حتى لايضعوا اشكالها فى وضع فاسد اى فى وضع لايمكن للانسان أن يقف فيه مع الاستقامة بدون أن يسقط ولاشك أن هذا العيب كاف فى الاخلال بجودة الصناعة وضياع انتظام الفنون المستظرفة

فاذا فرض ان بعض المصورين رسم صورة انسان حامل على ظهره (شكل ١١) حملا كبيرا وجعله فى وضع تام الاستقامة كان ذلك

مخالفا

مخالفا لقوانين الميكانيكا ولحقيقة الرصد (وقد رمزنا فى جميع ما يأتى من العبارات والاشكال بحرف غ الى مركز ثقل الجسم الانسانى و بحرف غَ الى مركز ثقل الحامل والمحمول معا)

و بالجملة فالتوازن يقتضى ان نقطة غَ التى هى مركز الحامل والمحمول المعتبرين بجسم واحد تكون على المستقيم الرأسى الحادث عن اخمص الانسان لاجل المقاومة لكن اذا كان الانسان معتدلا وكان مركز الثقل يميل الى جهة الخلف حتى يخرج عن المسافة المشغولة باخمصى الرجلين فانه حينئذ يقع هو ومحموله الى جهة الخلف

وللعتال معرفة تامة بهذه الفائدة الميكانيكية فانه بمجرد ما يضع الحمل على ظهره يشرع فى امالة الجزء الاعلى من جسمه الى الامام كما تراه فى (شكل ١٢) ليكون مركز الثقل المشترك بين الجسم والحمل على مستقيم رأسى لائق

فاذا كان الحمل باقيا على ثقله فانه كلما كان مركز ثقله بعيدا عن مركز ثقل جسم الحامل كان المركز المشترك بينهما مائلا الى الخلف وكان العتال مجبورا على أن يميل الى الامام ولا يزال كذلك حتى ينتهى امره الى اخذ وضع متعب وربما تعذر اذا كان الحمل عظيم الحجم كما تقدم فى (شكل ١٢)

فاذا كان الجسم مسطحا من جهة وغير مسطح من اخرى فان العتال يسند الجهة المسطحة على ظهره و ينقل حينئذ مركز ثقل الحمل الى الامام مهما امكن و بذلك يمكنه عند حمل ثقل معلوم أن يميل قليلا بقدر الامكان ليكون متوازنا مع الحمل

• • •

ومن الاثقال التى لا تعد خفيفة جربندية العسكرى التى يحملها على ظهره وقد كانت الجربنديات القديمة المحدبة بالكلية ينشأ عنها ضرر كالضرر الناشئ عن الحمل المذكور فى (شكل ١٢) فكان مركز ثقلها مائلا الى الخلف بالكلية فبذلك كان الراجل مجبورا على أن يكون الجزء الاعلى من جسمه مائلا الى الامام بالكلية حال السير وكان ذلك بموجب قوانين صعبة صادرة عن اوامر غوطية فلما تفكروا فى خواص مراكز الثقل ادركوا فائدتها

وصنعوا للعساكر جربنديات عريضة ومسطحة (شكل ١٣) مركز ثقلها يميل الى الخلف قليلا اذا حملها العسكرى على ظهره من جهتها العريضة وهذا التخفيف الضرورى معدود من العمليات السهلة المتعلقة بقضية مركز الثقل النظرية وكان العسكر قبل عمل هذه الجربنديات بقرنين يحملون على ظهورهم مع المشقة جربنديات رديئة الشكل

وقد ينشأ عن الحمل الموضوع فى جهة الامام تأثير مضاد يجبر الحامل على الميل الى جهة الخلف لاجل أن يحفظ التوازن على قدميه مالم يقصد وضعا لا تمكن الاقامة به بدون أن يكون عرضة للسقوط (شكل ١٤)

فانظر الى بائعة السمك (الافرنجية) مثلا (شكل ١٥) فانك تجد حمالتها المربوطة بالاربطة معلقة أمامها تعليقا افقيا وتراها عند الوقوف على غاية من الاعتدال الأن اعلى جسمها يكون مائلا مع رأسها الى جهة الخلف ولما كانت فى الغالب تستند بيديها على فخذيها كان ذراعاها ايضا مائلين الى تلك الجهة وهذه العادة وان كانت جارية فى الناس لقصد حيازة الهيبة والوقار الا ان هذه المرأة لم تكن تفعلها الا ليكون مركز ثقل جسمها وذراعيها مائلا الى خلف بقدر الامكان لتوازن حملها

وكذلك الحبلى (شكل ١٠٨) فانها اذا عظم حملها وثقل تكون مجبورة كبائعة السمك على امالة اعلى جسمها الى خلف ولو جرت العادة بانها حال المشى تستند بيديها على فخذيها حتى يكون ذراعاها مائلين الى خلف لكانت فى الغالب تمشى مشيا قويا

وكذلك من تجاوزوا الحد فى الغلظ (شكل ١٧) فانهم مجبورون على الاستقامة والاعتدال على الوجه الذى عليه السماكة والحبلى

واذا اريد امالة ثقل جسيم الى جهة الامام لزم تقديم الأرجل كثيرا نحو تلك الجهة وامالة منتصف الجسم الى جهة الخلف بالكلية ليكون مركز الثقل مائلا الى خلف بقدر الامكان (شكل ١٦)

وقد ذكر حنابا كس رسو أن النساء لا يعرفن كيفية الجرى وانهن يمددن

فى تلك الحالة اذرعهن الى خلف لانهن عند الجرى يملن باعلى جسمهن الى الامام بالكلية وذلك يستلزم استعمال الاذرعة المتقدم لاجل التوازن

فاذا كان السقاء (الافرنجى) يحمل باحدى يديه دلوا واحدا (شكل ٢٠) فان مركز ثقل الحامل والمحمول لا يكون مائلا الى جهة الخلف ولا الى جهة الامام كما فى الصور المتقدمة وانما يكون مائلا الى جهة غيرهما وحينئذ يلزمه أن يميل الى الجهة المقابلة لتلك الجهة وذلك يوجب التعب دائما ومن هذا القبيل ايضا المرضع التى تحمل الطفل على احدى ذراعيها (شكل ١٩)

ومثل هذه المشاق الخالية عن الجدوى ينبغى اجتنابها واستبدالها بكيفية اخرى بأن يجعل الانسان ما يحمله على جزءين متقابلين من جسمه بالسوية فيحمل السقاء مثلا دلوين (شكل ٢٢) والمرضع طفلين متساويين فى الثقل (شكل ٢١)

وثم نساء ضعيفات يحملن على رؤسهن مع السهولة اثقالا جسيمة (شكل ٢٣) بحيث يكون مركز ثقل الحمل فى الوضع الرأسى مع مركز ثقل الجسم فيكون مركز ثقل الحامل والمحمول مرتفعا لكنه يكون دائما على رأسى واحد فاذن لا تحتاج المرأة الحمالة الى الميل من اى جهة كانت لاجل حفظ توازن وضعها الطبيعى

واول ما اخترعه الناس من المخترعات الميكانيكية بعد ان كانت اشغالهم لا طائل تحتها هو الخرج الذى له جهة واحدة او جهتان متساويتان وهو مثقوب من وسطه ليدخل به الجابى رأسه (شكل ٢٤) فاذا جبى الخراج وضعوه فى جهتى الخرج القدامية والخلفية حتى تمتلآ بالسوية بحيث لا يتغير مركز ثقل الحامل والمحمول وضعه الرأسى بل يبقى عليه دائما وحينئذ فيمكن فى استعمال الخرج المذكور أن يوضع فى جهتيه بدون مشقة حمل عظيم

فاذا فرضنا ان انسانا وقف على رجليه مع الاعتدال ثم رفع احداهما على حين غفلة وصار واقفا على رجل واحدة فان بقى جسمه على اعتداله فلا شك انه يقع من جهة الرجل المرفوعة فيلزمه لاجل منع هذا الوقوع ان يميل بجسمه قليلا

الى جهة الرجل الثابتة فى الارض بحيث يكون مركز الثقل موضوعا على المستقيم الرأسى المار بالجزء المشغول بهذه الرجل من الارض

فمن ثم كان الناس فى حال المشى يميلون قليلا بدون اشعار الى جهتى اليمين والشمال بالتعاقب على حسب ارتفاع الرجل اليمنى او اليسرى (شكل ٢٥)

وقد يكون هذا التحرك المتعاقب محسوسا للانسان بالكلية اذا وقف أمام بلوك من العساكر سائر على صف واحد بالتساوى وذلك لانه يرى ان هذا البلوك يميل ذات اليمين وذات الشمال عند نقل كل خطوة مع غاية الانتظام والاتحاد فى السير

فيكون هذا التحرك الخفيف الحاصل ذات اليمين وذات الشمال الذى ينشا عنه وضع مركز الثقل الثابت فى غاية الصعوبة والمشقة على شخصين كل منهما قابض على ذراع صاحبه وماش مع النشاط والخفة مالم يسيرا على مهل معا فان مركز ثقل احدهما بدون ذلك يكاد يقع جهة الشمال تحقيقا متى كاد مركز ثقل الآخر يقع جهة اليمين وبناء على ذلك اذا كانت رجلاهما الداخلتان موضوعتين على الارض فان هذين الشخصين يتصادمان او يتدافعان واما فى صورة العكس وهى ما اذا كانت رجلاهما الخارجتان على الارض فانهما يتجاذبان و يكادان أن ينفصلا عن بعضهما و بذلك يكون ذراعاهما فى غاية التعب

وقد ترتب على ما ذكرناه من الادلة فى شأن العساكر المشاة الذين يلزمهم بموجب الترتيب الجارى الآن أن يسيروا مع تماس اذرعتهم بعضها البعض منفعة عظيمة وهى جبر جميع الناس المتماسين على أن يسيروا معا قدما بقدم لانه بدون ذلك لا يمكن استمرار اذرعتهم على المماسة حيث انه اذا مال انسان منهم بجسمه الى الجهة اليمنى مال الآخر بجسمه الى اليسرى فيختل صفهم وتتفرق جمعيتهم ولاجل حصول الانتظام والاتحاد فى جميع الحركات بمجرد الشروع فى السير يجب على العساكر جميعا أن يبدؤا بقدم رجل واحدة وهى اليسرى حسبما هو متفق عليه ومن هنا تعلم ان الباعث لهم على نقل رجل واحدة عند السير المنتظم

من متعلقات قضية مركز الثقل النظرية

هذا و يظهر فى فن الرقص من تطبيقات هذه القضية وعملياتها ماهوا كثر تنوعا من السير وليس هذا محل البحث عن دروس معلمى الرقص الرموزى اوغيره من انواع الرقص حتى نتعرض فيه لذكر هذه التطبيقات لكن حيث اننا بصدد الكلام على قاعدة التحرك وهوموجود فى السير والرقص والتمرن على النط والوثوب حق أن نتكلم هنا على التطبيقات المذكورة فنقول

اذا فرض ان الراقص اوالبهلوان رفع رجله اليمنى من الجهة اليمنى مثلا وجب عليه فى الحال أن يميل جزأ من جسمه الى الجهة المقابلة لتلك الجهة حفظا للتوازن لكن حيث كان يلزم أن تحركات الجسم تكون صغيرة مهما امكن ليكون ما يبذل فى ذلك من الجهد قليلا غيرظاهر مع السهولة والخفة لزم أن يمد الراقص اوالبهلوان ذراعه الايسر الى الجهة اليسرى فاذا كانت الرجل اليمنى متأخرة الى خلف لزم أن يكون الذراع الايسر متقدما الى أمام فيكون على صورة مركور (اى عطارد) الطيار اللطيفة (شكل ٢٦) وعلى صورة رنوميه ايضا (اى الشهرة)

واما مقابلة تحركات الاذرعة بتحركات الارجل لحفظ مركز الثقل على رأسى واحد فذلك مما لابد منه لنطاطى الحبال الذين ينطون بلا ميزان معهم فيكون التحرك حينئذ محسوسا مشاهدا والغرض الاصلى من الميزان المذكور هو تحويل مركز ثقل الجسم والميزان معا على رأسى مار بالحبل

و كثيرا ما عاينت اناسا يمشون مع العجلة و يهزون اذرعتهم بكثرة و يطرحونها الى اى جهة من الجهات عوضا عن كونهم يطرحونها الى الخلف او الى الامام كما هى عادة معظم الناس * و بموجب الملحوظات المقررة فى شأن الطريقة التى يكون فيها مركز الثقل مائلا فى كل خطوة الى جهة الرجل الثابتة على الارض يرى أن الاذرعة تميل بواسطة التحرك الطبيعى الى جهة الرجل المرتفعة لاجل تحويل مركز الثقل الى اتجاه السير فهؤلاء الناس الذين يراعون هذه الملحوظات يكونون فى مشيهم اكثر استقامة واعتدالا من الاول

ثم ان مراعاة مركز الثقل هي من اهم الاشياء في فن ضرب الشيش فاذا كان ثقل الجسم مائلا كما هو العادة الى الرجل اليسرى المتأخرة الى خلف لزم أن يكون مركز ثقل الجسم موضوعا على مستقيم رأسي مار دائما بالرجل المذكورة وهذا بعينه هو الذي يجبر الانسان على أن يميل كثيرا باعلا جسمه الى خلف و يمديده اليسرى الى تلك الجهة لاجل توازن الذراع الايمن والساق الايمن المتقدمين الى أمام و بالجملة فادني ضربة من الشيش المعد للتعليم تقلب الضارب اذا كان مركز ثقله مائلا جدا الى خلف وفي صورة العكس وهي ما اذا كان المركز المذكور مائلا الى الامام يحصل للضارب تعب عظيم متى مال بجسمه الى خلف وربما كان عرضة للخطر ببطئ هذا التحرك

وسيأتي في الدرس الذي نتكلم فيه على تحرك الدوران ان مراكز الثقل لها تأثير مهم في التحرك المذكور كما ان لها تأثيرا مهما في التحرك المستقيم

(الدرس الرابع)

(في بيان مراكز ثقل الآلات ومحصولات الصناعة وفي كمية القوى)

اعلم ان ما اسلفناه من الامثلة في الدرس المتقدم يكفي دليلا على ان من اهم الاشياء في كثير من الفنون والصنائع تعيين الوضع الحقيقي لمركز ثقل كثير من الاجسام المتنوعة الشكل وكذلك تعيين مركز ثقل الاجزاء الثابتة والاجزاء المتحركة من سائر الآلات

فاذا وسقت عربة ذات عجلتين فلابد أن لا يكون ثقل الحمل موضوعا أمام المحور ولا خلفه لانه في الصورة الاولى ان لم تتلف الفرس من الحمل يلحقها مشقة عظيمة بدون أن ينقص شيء من الجهد والتعب اللازم لجر العربة وفي الصورة الثانية يكون ثقل المؤخر اعظم من ثقل المقدم فان لم تضطرب العربة بذلك وتتزلزل ارتفع الفرس وصار بعيدا عن الارض وربما ترتب على هذا الجهد والمشقة خطر عظيم عند الصعود على جانب جبل منحدر انحدارا بينا

ولا بد في عمارة السفن وانتظام وسقها وتصبيرها ولوازمها وادواتها من حساب وضع مركز ثقل كل جزء من السفينة وكل شيء احتوت عليه لاجل معرفة

مركز ثقل الجميع ولاجل التحقق من استيفائها لشروط التوازن والثبات كما سيأتي (في الجزء الثالث عند ذكر القوى المحركة)

فاذا كان ثقلان متساويان ومعتبران كنقطتين ماديتين مربوطين بطرفي قضيب غير لين وفرضنا انه لا تثاقل له فان مركز ثقل مجموعهما يكون في منتصف المستقيم

ونقطة غ التي هي مركز ثقل مستقيم ثقيل كمستقيم اب (شكل ١) المبين بسلك معدني متحد السمك في جميع جهاته موضوعة في منتصف طول هذا المستقيم لانه اذا علق من منتصفه فلا داعي لأن تكون احدى جهتيه ارجح من الاخرى بل يكون التوازن باقيا على حالة واحدة مهما كان ميل هذا المستقيم والنقطة التي يكون هذا التوازن الثابت حاصلا حولها هي مركز ثقل المستقيم المذكور

فلا خفاء انه اذا وضع منتصف قضيب افقي متحد السمك في جميع طوله على طرف اصبع او على طرف شئ ما فانه يكون متوازنا وكذلك اذا علق من منتصفه وسيأتي عند الكلام على الرافعة ان توازن الميزان من جملة تطبيقات هذه القاعدة

ولنفرض الآن ان المطلوب مركز ثقل مجموع مستقيمي اب و ثد (شكل ٢) المنتظمي التثاقل في جميع طولهما بحيث تكون اطوالهما دالة على ثقليهما

فيمكن أن نعتبر أن ثقل مستقيم اب محصور في منتصفه وهو نقطة ه وثقل ثد محصور أيضا في منتصفه وهو نقطة ف .

فيحدث بذلك قوتان متوازيتان احداهما واقعة على ه والاخرى على ف وكلتاهما يدل عليه اب و ثد فتكون محصلتهما مدلولا عليها بمجموع اب + ثد وتكون نقطة وقوعها وهي ش على مستقيم هف مبينة بهذا التناسب وهو

اب : ثد :: شف : شه

الذي يمكن وضعه بهذه الصورة

اب + ثد : اب :: ثف + ثه او هف : ثف

وينتج من ذلك ان

(اب × فه) / (اب + ثد) = ثف

وبذلك يعلم مقدار الحد الرابع من هذا التناسب (كما تقدم في الدرس الخامس من الهندسة)

ويسهل بالقاعدة التي ذكرناها آنفا معرفة مركز ثقل ما يراد من المستقيمات الثقيلة وذلك بأخذها مثنى فاذا كان المطلوب مثلا تحصيل مركز ثقل مستقيمات متألفا منها كثير اضلاع مستقيم مثل اب ث د (شكل ٣) فانك تأخذ نقط تنصيف اضلاع اب و ب ث و ث د الخ وهي ا و ب و ث الخ فبواسطة القاعدة المتقدمة تجد على مستقيم ا ب نقطة س وهي مركز ثقل مستقيمي اب و ب ث واذا مددت مستقيم س ث واعتبرت ان ثقل مستقيمي اب و ب ث محصور في نقطة س التي هي مركز ثقلهما كانت نقطة ص مركز ثقل اب + ب ث و ث د فتجد ايضا ان نقطة ز مركز ثقل اب + ب ث + ث د و د ا فتكون هذه النقطة مركز ثقل المستقيمات الاربعة وهي اب و ب ث و ث د و د ا

ومما ينفع التلامذة تمرنهم على عمل كثير الاضلاع مثل اب ث د الخ من سلك حديد يربطون به خيوطا من حرير كخيوط ا س و س ث و ص د الخ فيجدون وضع مركز ثقل كثير الاضلاع المذكور على غاية من الضبط ثم يعلقون هذا الشكل بخيط جديد على التوالي من نقطة ا ومن نقطة ب ومن نقطة ث وهكذا فيرون أن الشاقول الموضوع بجوار خيط التعليق يمر دائما بمركز ثقل كثير الاضلاع المذكور فيتصورون حينئذ بالتجربة خاصية مراكز الثقل تصورا واضحا سهلا وبهذا التمرين يعرفون عملية مفيدة جدا

ويجبرون

ويجبرون على ممارسة القاعدة الهندسية المقررة فى شأن المستقيمات المتناسبة
(كما تقدم فى الدرس الخامس من الهندسة)

وقد بسطنا الكلام فى الجزء المتعلق بالهندسة على شكل الخطوط المتماثلة والسطوح المتماثلة والجسوم المتماثلة وخواصها * والاهتمام بتماثل الاشكال من اعظم مايكون عند الميكانيكى والمهندس وان كان الصنائعية لا يهتمون بهذا الغرض

وليكن كما فى (شكل ٤) شكل اب ث د ه ذ ثَ بَ ا مثلا متماثلا بالنسبة لمحور اه واتكن نقطة غ مركز ثقل محيط اب ث د ه الموضوع على شمال محور التماثل

فاذا ثنينا جزء الشمال على جزء اليمين فانهما ينطبقان على بعضهما انطباقا تاما وحيث انهما لا يختلفان لا فى المقدار ولا فى الصورة ولا فى الوضع لزم أن يكون مركز ثقلهما موجودا فى نقطة واحدة فاذن تكون نقطة غَ التى هى مركز ثقل ابَ ثَ ذَ ه فى وضع متماثل بالنسبة لنقطة غ بمعنى ان غ و غَ يكونان على بعد واحد من المحور وموضوعين على مستقيم غ غَ العمودى على هذا المحور وحيث ان محيطى اب ث د ه و ابَ ثَ ذَ ه المتماثلين متساويان فى الثقل كانا مدلولا عليهما بقوتين متساويتين احداهما واقعة على غ والاخرى على غَ وكانت محصلتهما المساوية لمجموعهما واقعة على منتصف مستقيم غ غَ اعنى فى نقطة غً على محور التماثل فاذن ثبت المطلوب

ومركز ثقل اى خط متماثل يكون بالضرورة موضوعا على محور التماثل

ولننبه على ان السطح المستوى المنتهى بمحيط متماثل يكون متماثلا بالنسبة للمحور المتقدم كالمحيط المذكور

ويمكن أن يفرض أن هذا المحيط ينتهى به السطح المستوى الثقيل فى جميع جهاته كفرخ من ورق او لوح من معدن فاذا كانت نقطتا غ و غَ دالتين على مركزى ثقل السطحين الموضوعين على يمين محور التماثل وشماله

فان مستقيم غ غ َ يكون عمودا دائما فى نقطة غ على المحور ويكون غ غ = غ غ َ فاذن يكون مركز ثقل كل مسطح مستو متماثل موضوعا على محور التماثل واذا علق فى نقطة من المحور براو يز ذات شكل ما لكنها متماثلة فان محور التماثل يكون موجودا دائما فى وضع رأسى وبالجملة فثقل الشكل المذكور يكون مؤثرا كما لو كان محصورا كله فى مركز الثقل وزيادة على ذلك يكون اتجاه هذه القوة الرأسى مارا فرضا بنقطة التعليق او الارتباط الثابتة فاذن تنعدم القوة بالمانع المذكور (وهو التعليق) وعليه فيكون البرواز متوازنا

والمنازل الافرنجية مزخرفة بكثير من البراويز المتماثلة ايا ما كان شكلها ونقطة تعليقها موضوعة على محور التماثل لانه ان لم يكن وضعها بهذه المثابة كانت قبيحة المنظر

ولنذكر هنا بعض امثلة سهلة لاجل ايضاح الملحوظات العامة التى اسلفناها ونرمز بحرف غ فى جميع الاشكال الآتية الى مركز الثقل فنقول

ان غ الذى هو مركز ثقل المحيط او مسطح البرواز المثلثى المتماثل مثل ا ث (شكل ٥) يكون موضوعا على رأسى مار بنقطة ا التى هى رأس مثلث ا ث وبمنتصف قاعدته وهى ب ث فاذا علق هذا البرواز من نقطة ا التى هى رأس ذلك المثلث (شكل ٥) او من نقطة د التى هى منتصف قاعدته وهى ب ث (شكل ٦) وكانت هاتان النقطتان موضوعتين على محور التماثل فان وضع توازن البرواز المذكور يكون عين الوضع الذى يصير فيه محور ا د رأسيا واذا علق برواز على شكل شبه المنحرف المتماثل وهو ا ب ث د وكان تعليقه اولا من نقطة ه التى هى منتصف قاعدته الصغرى وهى ا ب كما فى (شكل ٧) وثانيا من نقطة ف التى هى منتصف قاعدته الكبرى وهى ث د كما فى (شكل ٨) فان التوازن يستلزم أن محور التماثل وهو ه ف المحتوى على غ التى هى مركز ثقل المحيط ومركز ثقل سطح شبه المنحرف

يكون

يكون موجودا في وضع رأسي

وما ذكرناه من البرهنة على أن مركز ثقل المحيط المستوى والمسطح المستوى المتماثلين بالنسبة لمحور ما يكون موضوعا بالضرورة على هذا المحور يجري ايضا في الاشكال المنتهية بخطوط مستقيمة او منحنية ومن هنا تحدث الدعاوى الآتية وهي

كل قوس كقوس دائرة ا ب ث (شكل ٩) يكون متماثلا بالنسبة لنصف القطر وهو و ب المار بمنتصف هذا القوس فاذن تكون نقطة غ التي هي مركز ثقل المحيط او سطح قوس الدائرة المذكور موضوعة على نصف قطر و ب وبناء على ذلك اذا علق قوس دائرة ا ب ث من منتصفه وهو ب كان طرفاه وهما ا و ث على افق واحد ومتوازنين (وينبغي التنبيه على انه لا يكون لمركز الثقل في قوس الدائرة ولا في شبه المنحرف وضع كوضع مركز مسطحهما)

ويجري ذلك في مسطح قطع ا ب ث وفي مسطح قطاع و ا ب ث واذا انعكس الشكل حدث وضع ثان للتوازن (شكل ١٠) فاذا كانت نقطة التعليق دائما على نصف قطر و ب فانه يكون في هذه الصورة كالتي قبلها باقيا على وضعه الرأسي

وحيث ان القطع المكافي والقطع الزائد متماثلان بالنسبة للمحور المار برأسيهما فاذا اخذ بالابتداء من رأس ب التي هي احد رأسي هذين المنحنيين (شكل ١١) جزآ ب ا و ب ث المتساويان من هذا المنحني فان مركز ثقله يكون على المحور فاذا علق حينئذ هذا المنحني من رأسه وهو ب فانه يكون متوازنا متى كان محور ب د تابعا الاتجاه رأسي

وهناك اشكال لها محوران تماثل مثل ا ب و ث د كالمستطيلات (شكل ١٢ و ١٣) والمعينات (شكل ١٤ و ١٥) ففي هذه الاشكال يكون مركز الثقل وهو غ الذي يلزم أن يكون موجودا على كل من محوري التماثل في نقطة غ المشتركة بينهما اعني في مركز التماثل

فاذن يكون مركز ثقل المحيطات والمسطحات المتماثلة بالنسبة لمحورين موجودا في نقطة تقاطع هذين المحورين اعني في مركز التماثل

والاشكال الكثيرة الاضلاع المنتظمة كلها متماثلة بالنسبة لعدة محاور ويظهر من ذلك كثير من نقط التعليق المتماثلة المتنوعة بقدر ما يوجد من محاور التماثل فاذن يكون مركز ثقل المحيط ومركز ثقل الاشكال الكثيرة الاضلاع المنتظمة كلاهما موضوع في مركز ثقل تماثل الاشكال الكثيرة الاضلاع المذكورة

والقطع الناقص متماثل (شكل ١٦ و ١٧) بالنسبة لمحوريه وهما $\overline{اب}$ و $\overline{ثد}$ فاذن تكون نقطة $\overline{غ}$ التي هي مركز ثقل محيط القطع الناقص المذكور ومسطحه موجودة في مركز تماثل هذا المنحني

والدائرة (شكل ١٨) متماثلة بالنسبة لكل من قطريها وهما $\overline{اب}$ و $\overline{ثد}$ وعليه فيكون مركز ثقل المحيط ومسطح الدائرة موجودا في مركز الدائرة وفي اي نقطة من محيط برواز كثير الاضلاع منتظم او محيط قطع ناقص او محيط مستدير متعلق به هذا البرواز يكون مركز التماثل دائما في وضع رأسي مع نقطة التعليق

(بيان مركز ثقل السطوح)

لاجل تعيين وضع هذا المركز يفرض ان السطوح كافرخ من الورق او الواح من المعدن رقيقة جدا ومتحدة السمك في جميع جهاتها وثقيلة المسطح

*(بيان مركز ثقل المثلث)

اذا كان المطلوب تحصيل مركز ثقل سطح مثلث كمثلث $\overline{ابث}$ (شكل ١٩) فان هذا المثلث يقسم الى عدة قضبان متوازية ومتقاربة من بعضها جدا بحيث يمكن اعتبارها كمستقيمات ثقيلة فيكون مركز ثقلها موجودا على مستقيم $\overline{ا٥}$ الذي يقطعها كلها من منتصفها بموجب خاصية الخطوط المتناسبة فاذن يكون مركز مجموعها وهو $\overline{غ}$ اعني مركز المثلث الكلي على مستقيم $\overline{ا٥}$ الواصل من $\overline{ا}$ الى منتصف $\overline{بث}$ وبمثل ذلك يبرهن على انه يكون موجودا على $\overline{بف}$ وعلى $\overline{ثك}$ الواصلين من $\overline{ب}$ ومن $\overline{ث}$ الى

منتصفى

منتصفى اث و اب فاذن يكون مركز ثقل المثلث موجودا فى نقطة غ
المشتركة بين خطوط اه و ب ف و ث ك الثلاثة ولكن حيث
ان نقطتى ك و ه موجودتان فى منتصف اب و ب ث
فان مستقيم ك ه يكون موازيا للمستقيم اث فيحدث حينئذ عن هذه
الخطوط (كما تقدم فى الدرس الخامس من الهندسة) هذا التناسب

١ : ٢ :: ب ك : ب ا :: ك ه : اث :: ه غ : غ ا

فاذن يكون ه غ = $\frac{1}{2}$ غ ا و ه غ = $\frac{1}{3}$ ه ا

وبناء على ذلك يكون مركز ثقل المثلث موضوعا اولا على المستقيم الواصل
من رأسه الى منتصف قاعدته وثانيا فى ثلث هذا المستقيم بالابتداء
من القاعدة

(بيان مركز ثقل ذى اربعة الاضلاع وهو اب ث د)

اذا اريد تحصيل هذا المركز (شكل ٢٠) عين من مبدء الامر مركزا مثلثى
اب ث و اد ث وذلك بايصال ه ب و ه د الى منتصف
اث واخذ ه و = $\frac{1}{3}$ ه ب و ه وَ = $\frac{1}{3}$ ه د ثم اذا وصل كل
من نقطتى و و وَ بمستقيم و وَ تحدث محصلة قوتى ف =
اب ث و فَ = اد ث الواقعتين على نقطتى و و وَ فاذن
تكون نقطة غ التى هى نقطة وقوع المحصلة مركز ثقل الشكل ذى اربعة
الاضلاع المذكور

ومن السهل تحصيل مركز ثقل الاشكال ذوات اربعة الاضلاع التى بها نوع
انتظام

وفى شبه المنحرف وهو اب ث د مثلا (شكل ٢٢) يكون مركز
الثقل وهو غ موجودا على مستقيم ه ف الذى يقسم جميع المستقيمات
الموازية للقاعدتين الى اجزاء متساوية

ومركز ثقل سطوح متوازى الاضلاع والمعين والمستطيل والمربع يكون
فى نقطة تقاطع اقطارها كما تقدم فى (شكل ٢١) و(شكل ١٤ و ١٥) وغيرها

وذلك لان كل قطر يقسم هذه الاشكال الى مثلثين متساويين والقطر الثانى القاطع للاول من منتصفه يحتوى على مركزى ثقل هذين المثلثين فاذن يكون مركز ثقل كل من الاشكال المذكورة موجودا على القطر الثانى وبمثل ذلك يبرهن ايضا على انه يكون موجودا على الاول فاذن يكون موجودا على كل من القطرين المذكورين وبناء على ذلك يكون موجودا فى نقطة تقاطعهما

فاذا قسم اى سطح متماثل مستويا كان اومنحنيا (شكل ٤) بقضبان متوازية وعمودية على محور التماثل فان مركز ثقل كل قضيب يكون موجودا على مستوى التماثل اومحوره فاذن يكون مركز ثقل السعة المتماثلة موجودا على مستوى التماثل او محوره

ومتى كان لسعة محورا اومستويا تماثل فان مركز ثقلها يكون فى نقطة تقاطع المحورين المذكورين التى هى مركز الشكل

وبناء على ذلك يكون مركز الثقل فى السعات المستوية التى لها محورا تماثل موجودا فى مركز التماثل كما تقدم اثبات ذلك فى الكلام على المحيطات المتماثلة واشرع الآن فى ذكر السعات اوالسطوح المنحنية فنقول

ان السطح المنحنى او المركب من عدة مستويات يكون متماثلا بالنسبة لمحور متى كان لكل قطع حادث من السطح عمودى على هذا المحور مركز تماثل موضوع على المحور المذكور وكذلك يكون الجسم المحدد بالسطح المتماثل متماثلا بالنسبة لهذا المحور

فاذا فعل فى السطح او الجسم عدة قطوع عمودية على المحور وقريبة من بعضها قربا كليا فانه يمكن اعتبار قطوع ذلك الجسم كسطوح بسيطة ثقيلة مركز تماثلها موضوع على المحور المذكور وحينئذ فتكون محصلة ثقلها موضوعة عليه وتكون محصلات هذه القطوع مارة كلها بالمحور المفروض رأسيا فاذن تكون المحصلة الكلية متجهة على هذا المحور وبالجملة فتكون مراكز ثقل الجسوم والسطوح المنحنية المتماثلة بالنسبة لمحور موضوعة على محور التماثل المذكور ومتى كان لجسم محورا تماثل كان له مركز تماثل موجود على هذين المحورين

وهذا

وهذا المركز يكون ايضا مركز ثقل السطح او الجسم

ويظهر لنا من الفنون كثير من الاشكال التى لها محور تماثل كسائر سطوح الدوران فانها متى علقت من نقطة من محورها كان وضع توازن السطح او الجسم عين الوضع الذى يكون به المحور رأسيا

والنجفات المعلقة بحبل او سلسلة فى البيوت والسرايات والهيا كل متماثلة دائما بالنسبة للمحور وذلك ان النجفة تكون مربوطة فى نقطة ما من نقط هذا المحور ويكون للمحور المذكور فى وضع التوازن وضع رأسى ومن هذا القبيل شاقول $\overline{اب}$ (شكل ١٨ مكرر) فان ثقله وهو $\overline{ب}$ جسم متماثل بالنسبة للمحور المربوط به خيطه

وليس كون المحور رأسيا مقصورا على الحالة التى تكون فيها النجفة ساكنة بل يكون كذلك فى صورتين ايضا احداهما اذا كانت النجفة هابطة او صاعدة وحركت نقطة ارتباطها تحركا رأسيا والثانية اذا كانت تدور على نفسها فتكون حينئذ باقية على وضعها الرأسى مالم يعرض لها اصطدام تميل به من احدى جهاتها

ومن هذا القبيل ايضا الشاقول وبتلك الخاصية يتحقق العمل

وسيأتى ان الصناعة اكتسبت عدة عمليات عظيمة من خاصية محاور التماثل وهى احتواء هذه المحاور على مركز ثقل الاجسام ولنذكر قبل التوغل فى ذلك خواص اخرى مهمة جدا تتعلق بالقوى المتوازية وبمراكز الثقل فنقول

(بيان مقادير القوى المتوازية)

متى كان لقوتى $\overline{س}$ و $\overline{ص}$ (شكل ٢٤) المتوازيتين الواقعتين على نقطتى $\overline{ا}$ و $\overline{ب}$ من مستقيم $\overline{اب}$ محصلة كمحصلة $\overline{ز}$ واقعة على $\overline{اب}$ فى نقطة $\overline{و}$ حدث

$$\overline{س} \times \overline{وا} = \overline{ص} \times \overline{وب} \quad \text{اى} \quad \overline{س} : \overline{ص} :: \overline{وب} : \overline{وا}$$

فاذا مددنا مستقيم م و د عمودا على اتجاه القوتين المتوازيتين

حدث هذا التناسب وهو وب : وا :: وى : وم
كما تقدم (فى الدرس الخامس من الهندسة عند ذكر الخطوط المتناسبة)
و بناء عليه يستبدل التناسب المتقدم بهذا التناسب وهو

س : ص :: وى : وم

الذى يحدث منه س × وم = ص × وى

وحيث ان س و وم ثابتان فاذا فرضنا ان بعد وى يكون على النصف يلزم ان قوة ص تكون مضعفة مثنى ليكون الحاصل ثابتا والتوازن واقعا ولا مانع ايضا من أن نفرض أن بعد وى يكون على الثلث فيلزم أن قوة ص تكون متضاعفة ثلاث ولا مانع كذلك من أن نفرض أن بعد وى يكون على الربع فيلزم أن قوة ص تكون متضاعفة رباع وهكذا فيأخذ حينئذ فى الازدياد تأثير قوة ص فى مقاومة زِ المساوية لمقاومة ز والمضادة لها لاجل توازن القوة المذكورة مع قوة اخرى كقوة س موازية لها وازدياد هذا التأثير يكون اولا بالمناسبة لقوة ص المذكورة وثانيا بالمناسبة لبعد وى وهو بعد اتجاه هذه القوة عن النقطة التى تكون بها المقاومة * والحاصل الذى يستعمل قياسا لتأثير القوة فى المقاومة الموجودة بنقطة و هو ما يسمى بمقدار القوة بالنسبة لنقطة و المذكورة

فاذن يكون س × وم هو مقدار قوة س وكذلك يكون ص × وى مقدار قوة ص ولنذكر شرط التوازن المبين بمعادلة س × وم = ص × وى فنقول

يشترط فى جعل قوتين متوازيتين كقوتى س و ص متوازنتين حول نقطة و الثابتة أن يكون مقدار القوتين المأخوذ بالنسبة للنقطة المذكورة واحدا فى كل منهما

ويشترط ايضا أن تكون قوتا س و ص يديران المستقيم الى جهتين متقابلتين

هذا ولا مانع من وضع المقاومة فى نقطة ا (شكل ٢٤) واعتبار توازن

قوتى

قوتي $\overline{ص}$ و $\overline{ز}$ المؤثرتين في جهتين متضادتين فاذا مددنا مستقيم اع غ عمودا على اتجاه هاتين القوتين المتوازيتين حدث هذا التناسب

$$\overline{ص} : \overline{ز} :: \overline{او} : \overline{اب} :: اع : اغ$$

فاذن يكون $\overline{ص} \times اغ = \overline{ز} \times اع$

فيكون حينئذ حاصل المقدارين في هذه الصورة كالتي قبلها واحدا في قوتي $\overline{ص}$ و $\overline{ز}$ المتوازنتين مع قوتي $\overline{س}$ و $\overline{ص}$ كما انه واحد ايضا في قوة $\overline{ص}$ وقوة $\overline{ز}$ التي هي محصلة $\overline{س}$ و $\overline{ص}$

ولنمد الآن مستقيما حيثما اتفق كمستقيم ام د (شكل ٢٥) من نقطة آ ونجعل مستقيمي وم و ب د عمودين على هذا المستقيم فيحدث من خواص الخطوط المتناسبة (كما سبق في الدرس الخامس من الهندسة) هذا التناسب

$$\overline{ص} : \overline{ز} :: \overline{او} : \overline{اب} :: وم : ب د$$

وينتج من ذلك ان $\overline{ص} \times \overline{ب د} = \overline{ز} \times وم$

فيكون حاصل ضرب قوة $\overline{ص}$ في بعد نقطة وقوعها وهي $\overline{ب}$ على مستقيم ام د وحاصل ضرب قوة $\overline{ز}$ في بعد نقطة وقوعها وهي و على هذا المستقيم هما مقدارا $\overline{ص}$ و $\overline{ز}$ المأخوذان بالنسبة للمستقيم المذكور ويعرف هذا المستقيم حينئذ بمحور المقادير .

وعليه فمتى كان محور المقادير مارا بنقطة وقوع قوة $\overline{س}$ المتوازنة مع قوتي $\overline{ص}$ و $\overline{ز}$ المتوازنتين كان مقدار $\overline{ص}$ مساويا لمقدار $\overline{ز}$ وكان هذان المقداران مؤثرين في جهتين متضادتين

فاذا مددنا مستقيم $\overline{ل م ن}$ موازيا للمستقيم ا م د ثم جعلنا $\overline{ال}$ و $\overline{وم م}$ و $\overline{ب د ن}$ اعمدة على هذين المستقيمين المتوازيين حدث

$$\overline{ال} = \overline{ن د} = \overline{م م}$$

لكن $\overline{س} + \overline{ص} = \overline{ز}$

فاذن يكون س × ال + ص × ن ه = ز × مم

وتقدم أن ص × ب ه = ز × وم

فعليه يكون س × ال + ص × ب ن = ز × وم

فاذا جعلنا حينئذ مستقيما كمستقيم ل م ن محورا للمقادير كان مجموع مقدارى قوة س وقوة ص المتوازيتين مكافئا لمقدار قوة ز الموازنة لهما فيكون مكافئا ايضا لمقدار قوة ز التى هى محصلة قوتى س و ص حيث ان ز = ز

ولنفرض الآن أن هنالك ثلاث قوى مركبة مثل س و ص و ع (شكل ٦ ك) فبنقلها الى اى محور من مقادير م ه يحدث

اولا س × ا سـ + ص × ب صـ = ز × د ز

وثانيا ز × د ز + ع × ث ع = ز × ه ز

فاذن يكون س × ا سـ + ص × ب صـ + ع × ث ع = ز × ه ز

وبناء عليه يكون مجموع مقادير القوى الثلاثة مساويا لمقدار محصلتها

ويبرهن فى المستوى ايضا على ان مجموع مقادير اربع قوى او خمس او ست اوغير ذلك من القوى المركبة يكون مساويا لمقدار محصلتها مهما كان وضع محور المقادير واتجاهه

وبناء على ذلك اذا مددنا من كل نقطة من نقط وقوع القوى عمودا على محور المقادير كان حاصل ضرب المحصلة فى البعد الموافق لنقطة وقوعها مساويا لمجموع الحواصل الموافقة لنقط وقوع سائر القوى المركبة

ويحدث من هذه الخاصية العظيمة تطبيقات مهمة على حسابات تحرك الاجسام والآلات فلابد للتلامذة من حفظها وتعقلها على وجه الصحة والضبط

وفائدة الخاصية المذكورة هى انها تبين بدون واسطة وضع نقطة وقوع محصلة ما يراد من القوى المتوازية من غير أن يكون هنالك ما يجبرنا على اخذها مثنى وثلاث الخ

ولذلك نمد مستقيمين عمودين على بعضهما كمستقيمى وس و وص

(شكل

(شكل ٢٧) ثم تنزل من نقط وقوع قوى ح و خ و ر و ض الخ وهى ا و ب و ث و د الخ باعمدة اا و بـ و ث ث الخ و اا َ و بـ َ و ث ثَ الخ على وس و وص فاذا كانت غ نقطة وقوع محصلة ز فانه يحدث

غ غ × ز = اا × ح + بـ × خ + ث ث × ر + ...
و غ غَ × ز = اا َ × ح + بـ َ × خ + ث ثَ × ر + ...

ويستخرج من ذلك

$$غ غ = \frac{اا × ح + بـ × خ + ث ث × ر + ...}{ز} \quad (١)$$

$$و \; غ غَ = \frac{اا َ × ح + بـ َ × خ + ث ثَ × ر + ...}{ز} \quad (ب)$$

ولا تغفل ان محصلة ز تساوى مجموع سائر القوى المركبة

فاذا تساوت قوى ح و خ و ر و ض الخ وكان عددها ە (اى غير متناهية) فان محصلتها = ە × ح فاذن يحدث من مساواة المقادير

غ غ × ز = اا × ح + بـ × خ + ث ث × ر + ...
غ غ × ە × ح = اا × ح + بـ × خ + ث ث × ر + ...

ويؤخذ من ذلك ان ە × غ غ = اا + بـ + ث ث + ...

فاذن يكون $غ غ = \frac{اا + بـ + ث ث + ...}{ە}$

وعليه فمتى كانت القوى المركبة مساوية لبعضها واخذ لكل منها بعد نقطة وقوعها عن محور المقادير وقسم مجموع هذه الابعاد على عدد القوى فانه يحصل بعد المحور عن نقطة وقوع المحصلة وهذا الحاصل مستعمل كثيرا فى الفنون

واذا لم يكن هنالك الا ثلاث قوى مساوية لقوة ح وواقعة على نقط ا و ب و ث الثلاثة التى هى رؤس مثلث ا ب ث (شكل ٢٨)

وجعلت قاعدة المثلث المذكور وهي $\overline{أب}$ محورا للمقادير فان بعد هذا المحور عن نقطتي وقوع القوتين الواقعتين على رأسي $\overline{أ}$ و $\overline{ب}$ يكون حينئذ معدوما فيكون حاصل ضرب هاتين القوتين في قوة $\overline{ح}$ معدوما ايضا فاذن لا يبقى معنا الا هذا التساوي بجعل $\overline{ر}$ فيه رمزا للمحصلة وهو $\overline{ر} \times \overline{غغ} = \overline{ح} \times \overline{ثث}$ لكن $\overline{ر} = ٣ \overline{ح}$

فيكون حينئذ $\overline{غغ} = \frac{١}{٣} \overline{ثث}$ على وجه التعديل

وعليه فيكون مركز ثقل القوى الثلاثة المتساوية الواقعة على رؤس المثلث موجودا في ثلث بعد كل رأس عن القاعدة التي تقابلها فاذن يكون هذا المركز عين مركز ثقل سعة هذا المثلث (وبمثل ذلك يبرهن مع السهولة على أن مركز ثقل اربع قوى متساوية واقعة على الرؤس الاربعة من شكل هرمي مثلثي هو عين مركز ثقل جسم الشكل المذكور) وهذه قاعدة شهيرة جدا مستعملة غالبا في حسابات الميكانيكا

وبمجرد تحصيل بعدي نقطة $\overline{غ}$ وهما $\overline{غغ}$ و $\overline{غغ'}$ (شكل ٢٧) عن مستقيمي $\overline{وس}$ و $\overline{وص}$ نعرف وضع نقطة $\overline{غ}$ المذكورة التي هي مركز وقوع القوى

ونقطة $\overline{غ}$ المذكورة هي بمقتضى تعريف مراكز الثقل مركز ثقل قوى $\overline{ح}$ و $\overline{خ}$ و $\overline{د}$ و $\overline{ض}$ الخ الواقعة على نقط $\overline{أ}$ و $\overline{ب}$ و $\overline{ث}$ و $\overline{د}$ الخ (فاذا لم تكن القوى المتوازية كلها في مستو واحد لزم استبدال محاور المقادير بمستويات المقادير الاعمدة على بعضها فعلى ذلك نستبدل الاعمدة على محاور $\overline{أأ}$ و $\overline{ثب}$ الخ بالاعمدة على المستويات وفي كلتا الصورتين يكون مجموع مقادير القوى المركبة مساويا لمقدار المحصلة ويسهل اثبات ذلك بخواص الخطوط المتناسبة كما تقدم في الدرس الخامس من الهندسة)

ثم ان القاعدة المذكورة آنفا هي وطريق اجرائها يستعملان بدون واسطة في تحصيل وضع مركز ثقل ما يراد من القوى المتفرقة على الخطوط والسطوح او الجسوم سواء كان تفرقها مستمرا اولا

واذا كان المطلوب تحصيل مركز ثقل الخط الثقيل وهو ا ب (شكل ٢٩)
فانه يقسم الى اجزاء صغيرة جدًا متحدة الثقل ويضرب كل جزء منها فى بعده
عن مستقيم اوّل كمستقيم و س ثم عن مستقيم ثان كمستقيم و ص
ثم يقسم بالتوالى مجموع المستقيمات الاولى والثانية على مجموع القوى فيحدث
اوّلا غ غ وثانيا غ غَ ولا يلزم ايضاح الطرق الآتية التى تستعمل
لاجل تحصيل مركز ثقل السطوح والجسوم الا بالنسبة للميناتِ فنقول

ان جلافطة السفن يحتاجون الى قياس سطوح الشراعات وتعيينهم اوّلا
وضع مركز ثقل كل شراع وثانيا مركز ثقل مجموع هذه الشراعات لانه
كلما كان هذا المركز الاخير المعروف بمركز الشراعات مرتفعا عن مركز الثقل
كان لقوة الهواء شدّة بها تميل السفينة وتنقلب حيث لا مانع ومما لا نزاع فيه
ان جميع الشراعات الدائرة حول نقط تعليقها تكون كلها نازلة فى مستوى
تماثل السفينة وتنقسم الى مثلثات يكون كل من مسطحها ومركز ثقلها معينا
فاذا فرض (شكل ٢٧) ان قوى ح و خ و ر الخ المتوازية
الدالة على سطح هذه المثلثات واقعة على نقط ا و ب و ث الخ التى
هى مراكز ثقل المثلثات المذكورة فانه يحدث بدون واسطة من معادلتى
(ا) و (ب) المتقدّمتين بعدا نقطة غ التى هى مركز ثقل الشراعات
وهما غ غ و غ غَ عن محورى و س و و ص اللذين
احدهما افقى والآخر رأسى وفى ذلك كفاية فى معرفة وضع مركز الشراعات
فى مستوى تماثل السفينة

ولتكن سعة ام م ا المستوية (شكل ٣٠) محدودة بمنحنى ام
وبثلاث مستقيمات عمودية على بعضها وهى ا ا و ام و م م والمطلوب
معرفة مقدار قوة هذه السعة بالنسبة لمستقيم ام
فلذلك نقسم مستقيم ام المذكور الى اجزاء كثيرة عرض كل جزء منها
يساوى ل و نمدّ من نقط المستقيم مستقيمات ب ب و ث ث و د د الخ
الموازية لمستقيمى ا ا و م م

فاذا اعتبرنا اجزاء منحنى $\overline{\text{ا ب ث د}}$ الخ وهى $\overline{\text{ا ب}}$ و $\overline{\text{ب ث}}$ و $\overline{\text{ث د}}$ الخ الصغيرة جدًا كخطوط مستقيمة حدث عن ذلك ان سطح

$\overline{\text{اام م}} = \overline{\text{ل}} \times \frac{1}{2} \overline{\text{اا}} + \overline{\text{ب ب}} + \overline{\text{ث ث}} + \overline{\text{د د}} + \cdots + \frac{1}{2}$ $\overline{\text{م م}}$ الخ

واذا فرض اننا استبدلنا من مبدء الامر شكل $\overline{\text{م ا ا ب ث د}}$ الخ المتصل بشكل $\overline{\text{م ا اَ ب بَ ث ثَ د}}$ الخ المدرج فان مراكز ثقل هذين الشكلين وهى $\overline{\text{غ}}$ و $\overline{\text{غَ}}$ و $\overline{\text{غً}}$ الخ تكون متباعدة عن $\overline{\text{ام}}$ بكميات تساوى $\frac{1}{2}$ $\overline{\text{اا}}$ و $\frac{1}{2}$ $\overline{\text{ب ب}}$ و $\frac{1}{2}$ $\overline{\text{ث ث}}$ كل لنظيره

فاذن تكون مقادير المستطيلات التى يتركب منها الشكل المدرج بالنسبة لمحور $\overline{\text{ام}}$ هكذا

$\overline{\text{ا اَ}} = \overline{\text{ل}} \times \overline{\text{اا}} \times \frac{1}{2} \overline{\text{اا}}$

$\overline{\text{ب بَ}} = \overline{\text{ل}} \times \overline{\text{ب ب}} \times \frac{1}{2} \overline{\text{ب ب}}$

$\overline{\text{ث ثَ}} = \overline{\text{ل}} \times \overline{\text{ث ث}} \times \frac{1}{2} \overline{\text{ث ث}}$

فيكون المقدار الكلى $= \frac{1}{2} \text{ل} \left(\overline{\text{اا}}^2 + \overline{\text{ب ب}}^2 + \overline{\text{ث ث}}^2 + \cdots \overline{\text{م مَ}}^2\right)$

ومن ذلك يعلم ان المقدار الكلى يكون مساويا لمجموع مربعات مستقيمات $\overline{\text{اا}}$ و $\overline{\text{ب ب}}$ و $\overline{\text{ث ث}}$ مضروبا فى نصف عرض القواعد المتساوية

فاذا اخذنا شكل $\overline{\text{م ا اً ب بً ث ثً}} \ldots \overline{\text{م}}$ المدرج كان المقدار الكلى

$\frac{1}{2} \overline{\text{ل}} \times \left(\overline{\text{ب ب}}^2 + \overline{\text{ث ث}}^2 + \overline{\text{د د}}^2 + \cdots + \overline{\text{م م}}^2\right)$

وهناك مقدارين يوجد بينهما مقدار سطح $\overline{\text{م ا ا م}}$ المتصل

احدهما مقدار صغير جدًا وهو

$\frac{1}{2} \overline{\text{ل}} \left(\overline{\text{اا}}^2 + \overline{\text{ب ب}} + \overline{\text{ث ث}}^2 + \cdots\cdots \overline{\text{م مَ}}^2\right)$

ثانيهما مقدار كبير جدًا وهو

$\frac{1}{2}$ ل (ب بَ^{2} + ث ثَ^{2} + ... مَ مَ^{2} + م مَ^{2})

فاذا اخذنا المقدار المتوسط بينهما حدث

$\frac{1}{2}$ ل ($\frac{1}{2}$ ا ا^2 + ب بَ^{2} + ث ثَ^{2} + ... مَ مَ^{2} + $\frac{1}{2}$ م مَ^{2})

فاذن يكون مقدار السعة او المسطح وهو م م ا ا مساويا لنصف عرض ل من جميع الطبقات مضروبا في مجموع مربعات اطوال ب بَ و ث ثَ الخ المتوسطة وفي نصف مربع طولي ا ا و م م المتطرفين

فيكون المقدار المتحصل قريبا من الحقيقة بقدر ما تكون الطبقات المتقدمة كثيرة ومتقاربة من بعضها جدا فاذا قسمنا هذا المقدار على سعة م ا ا م حدث ع غ الذي هو بعد محور ا م عن مركز ثقل هذه السعة وهو غ

وعليه فيكون ع غ = $\frac{\frac{1}{2} ا ا^2 + ب بَ^2 + ث ثَ^2 + ... + \frac{1}{2} م مَ^2}{ا ا + ٢ ب بَ + ٢ ث ثَ + ... + م م}$

ثم ان حساب مقدار هذا الكسر هو اسهل شئ الا انه ينبغي فيه التأني وكذلك يسهل تحصيل هذا المقدار بالهندسة بواسطة المثلثات القائمة الزوايا التي خاصيتها ان مربع الوتر يكون مساويا لمجموع مربعي الضلعين الآخرين وقد استبان من ذلك ان خواص الهندسة عامة النفع في حل مسائل الميكانيكا

وقد تكون الطريقة التي ذكرناها آنفا عامة فتستعمل في سطوح اي شكل وليكن المطلوب تحصيل بعد محور س ص عن نقطة غ التي هي مركز ثقل سعة ا ب ث ... م ثَ بَ ا (شكل ٣١) فنمد متوازيات ا ا و ب بَ و ث ثَ و د دَ الخ التي على بعد واحد من بعضها وليكن غَ و غً مركزي ثقل شكلي

$\overline{\text{م ا ب ث د م}}$ و $\overline{\text{م ا اَ ثَ دَ}}$ .... م فيحدث عنهما

$$\overline{\text{غ غَ}} = \frac{\frac{1}{2}\overline{\text{اا}}^{2} + \overline{\text{بب}}^{2} + \overline{\text{ثث}}^{2} + \cdots \frac{1}{2}\overline{\text{مم}}^{2}}{\overline{\text{اا}} + 2\,\overline{\text{بب}} + 2\,\overline{\text{ثث}} + \cdots \overline{\text{مم}}}$$

$$\text{و}\ \overline{\text{غ غَ}} = \frac{\frac{1}{2}\overline{\text{اا}}^{2} + \overline{\text{بَ بَ}}^{2} + \overline{\text{ثَ ثَ}}^{2} + \cdots \frac{1}{2}\overline{\text{مم}}^{2}}{\overline{\text{اا}} + 2\,\overline{\text{بَ بَ}} + 2\,\overline{\text{ثَ ثَ}} + \cdots \overline{\text{مم}}}$$

فيكون اوّلا مقدار

$$\overline{\text{ا ب ث د م ا}} \cdots = \frac{1}{2}\overline{\text{ل}}\left(\frac{1}{2}\overline{\text{اا}}^{2} + \overline{\text{بب}}^{2} + \overline{\text{ثث}}^{2} + \cdots \frac{1}{2}\overline{\text{مم}}^{2}\right)$$

وثانيا مقدار

$$\overline{\text{اَ بَ ثَ م ا}} \cdots = \frac{1}{2}\overline{\text{ل}}\left(\frac{1}{2}\overline{\text{اا}}^{2} + \overline{\text{بَ بَ}}^{2} + \overline{\text{ثَ ثَ}}^{2} + \cdots \frac{1}{2}\overline{\text{مم}}^{2}\right)$$

فيكون خارج قسمة فاضل هذين المقدارين على فاضل السطوح اى السطح المفروض وهو $\overline{\text{ا ب ث د م دَ ثَ بَ ا}}$ هو بعد مركز ثقل هذا السطح وهو $\overline{\text{غ غَ}}$ عن محور المقادير وهو س ص

ويسهل بواسطة (شكل ٣٠) ايجاد $\overline{\text{غ غَ}}$ الذى هو بعد مركز ثقل غ بالنسبة الى محور $\overline{\text{اا}}$ العمودى على ام

فاذا حسبنا مقدار الطبقات المتوازية المدرّجة الصغيرة جدّا وكان ذلك بالنسبة الى $\overline{\text{اا}}$ حدثت هذه المقادير

اولا مقدار $\overline{\text{ا ا بَ}} = \frac{1}{2}\overline{\text{ل}} \times \overline{\text{ل}} \times \overline{\text{اا}}$

ثانيا مقدار $\overline{\text{ب بَ ثَ}} = \frac{3}{2}\overline{\text{ل}} \times \overline{\text{ل}} \times \overline{\text{بب}}$

ثالثا مقدار $\overline{\text{ث ثَ دَ}} = \frac{5}{2}\overline{\text{ل}} \times \overline{\text{ل}} \times \overline{\text{ثث}}$

فيكون المقدار الكلى $= \frac{1}{2}\overline{\text{ل}}^{2}\left(\overline{\text{اا}} + 3\,\overline{\text{بب}} + 5\,\overline{\text{ثث}} + 7\,\overline{\text{دد}} + \cdots\right)$ (١)

فاذا جعلنا الطبقات المدرّجة اكبر من سعة $\overline{\text{م ا ب ث د ه}}$ الخ

المتصل حدث

مقدار اً اب = ١/٤ ل × ل × ب ب

ومقدار بَ ب ث = ٣/٢ ل + ل × ث ث

ومقدار ثً ث د = ٥/٢ ل × ل × د د

فاذن يكون المقدار الكلى مساويا

١/٢ ل^٢ (ب ب + ٣ ث ث + ٥ د د + ٧ ٠٠٠٠) (ب)

وبأخذ نصف مجموع مقدارى (ا) و (ب) يحدث

١/٢ ل^٢ {ا ا + ٢ ب ب + ٤ ث ث + ٦ د د + ٨ هـ هـ ... } (ج)

ونستمر كذلك الى م م الذى لا يضرب فى ضعف عدد الطبقات الموافقة له بل يضرب فى عددها البسيط فقط فيكون مقدار (ج) مقسوما على سطح اب ث د الخ يساوى غ غَ

ثم ان صناع السفن يحتاجون الى تعيين مسطح ومركز ثقل ومقدار القطاعات الافقية المتنوعة المصنوعة فى القارين (اى الجزء الاسفل من السفينة) والمنتهية بمحيطات يسمونها خطوط الماء او خطوط التموج واسهل الطرق فى ذلك الطريقة التى ذكرناها فيلزم أن تكون هذه الطريقة المستعملة عند المهندسين البحريين مستعملة ايضا عند صناع سفن التجارة ومن هذا القبيل ايضا الطريقة التى ذكرناها التعيين وضع مركز ثقل الاجسام الصلبة ومقدارها

فلننقل وضع مركز ثقل الجسم الصلب الى مستويى المسقط المتقاطعين وهما المستعملان فى الهندسة الوصفية (كما تقدم فى الدرس الثالث عشر من الهندسة)

و انقطع الجسم الى طبقات رأسية متحدة السمك مرموز اليها بحروف ا و ب و ج الخ والى طبقات افقية مبينة باعداد ١ و ٢ و ٣ الخ ومتحدة السمك ايضا ويكون ترتيب الارقام دالا على ترتيب الطبقات فاذا فرضنا (شكل ٣١) ان سعة اب ث د الخ قاعدة اسطوانة

قائمة فان مركز ثقل هذه الاسطوانة يكون ساقطا سقوطا افقيا على مركز ثقل السعة المذكورة ويحدث من المعادلات المتقدمة بعد مركز ثقل الاسطوانة المذكورة بالنسبة لمحورين عمودين على بعضهما

ولنتوهم انقسام اى حجم كسفينة مثلا الى عدة طبقات افقية على بعد واحد من بعضها ومرسومة على الصورة التى فى شكل ٣٢ ونتوهم ايضا ان سطح السفينة عوضا عن أن يكون متصلا يكون مدرجا بحيث يكون كدرج السلالم المعوجة على حسب صورة الجسم الصلب وكلما تكاثر الدرج المسمى فى اصطلاحهم بالمدرجات كان الجسم المدرج قريبا من الجسم الذى يكون سطحه متصلا وبالجملة اذا فرضنا ان $\overline{\text{ش}}$ هو الارتفاع الرأسى لسائر الطبقات او المدرجات حدث

(اولا) ان حجم كل درجة من السلالم يكون مساويا $\overline{\text{ش}}$ مضروبا فى سطح الطبقة المستعملة قاعدة للمدرج

(وثانيا) ان مركز ثقل الدرجة يكون ساقطا سقوطا افقيا على مركز ثقل الطبقة المستعمل قاعدة لهذا المدرج

(وثالثا) ان ارتفاع $\overline{\text{ش}}$ مضروبا فى مقدار الطبقة يكون مساويا لمقدار المدرج الذى تكون سعة هذه الطبقة قاعدة له

(ورابعا) ان مجموع حجوم المدرجات يكون دالا على حجم $\overline{\text{ق}}$ الكلى للجسم المفروض

(وخامسا) ان مجموع مقادير المدرجات يكون دالا على المقدار الكلى للجسم المذكور

وحينئذ اذا كانت المقادير ماخوذة بالنسبة لمحور $\overline{\text{وص}}$ وكان مجموعها $\overline{\text{م}}$

حدث $\overline{\text{ع غ}} = \frac{\text{م}}{\text{ق}}$ واذا كانت ماخوذة بالنسبة لمحور $\overline{\text{وس}}$ وكان

مجموعها

مجموعها $\overline{م}$ فانه يحدث $\overline{و\ غ} = \frac{م}{ق}$

ولا يخفى ما في هذه الطريقة من الايجاز والسهولة فلهذا كانت مستعملة عند علماء النظريات وغيرهم ونافعة لجميع المهندسين والصنائعية الذين يريدون حساب وضع مركز ثقل اي جسم على وجه الصحة والضبط هذا ولانبالي من تكرير القول بان معرفة هذه الطريقة مما لابد منه خصوصا لصناع السفن ولا مانع ان البحارة اذا عرفوها حق المعرفة وأجروا ما ماثلها من الطرق يستفيدون منها فوائد جليلة تتعلق بسفنهم

وقد اقتصرنا هنا على ذكر الوضع الشهير لمركز ثقل عدة سطوح وعدة اجسام صلبة مهمة في الصناعة وابقينا للتلامذة الذين يريدون التبحر في المعارف الاطلاع على الكتب الجليلة المؤلفة في هذا المعنى واثبات ما نذكره من الحواصل فنقول

ان مركز ثقل المنشور او الاسطوانة يكون على بعد واحد من القاعدتين العليا والسفلى وبقطع المنشور او الاسطوانة الى جزئين متساويين بمستو موار لهاتين القاعدتين يكون مركز ثقل القطاع عين مركز ثقل المنشور او الاسطوانة .

فاذا اخذنا مركز ثقل كل قاعدة من المنشور او الاسطوانة ووصلنا بين المركزين بمستقيم واحد فان منتصف هذا المستقيم يكون مركز ثقل اما للمنشور او للاسطوانة

(فاذا كان المنشور قائما كان المستوى الذي يقسمه الى قسمين متساويين بالتوازي للقاعدتين على بعد واحد من هاتين القاعدتين مستوى تماثل فاذن يكون محتويا على مركز ثقل المنشور

ولنفرض انقسام المنشور المذكور الى كثير من الطبقات الموازية للقاعدتين فتكون مراكز ثقل هذه الطبقات تقريبا عين مراكز ثقل سطوحها وموجودة

على مستقيم واحد موازٍ لاضلاع المنشور ويكون حينئذ مركز ثقل هذا المنشور موجودا على منتصف المستقيم المذكور فاذا فرضنا ان القطوع المذكورة تتزحلق على بعضها بالتوازى بحيث تكون مراكز ثقلها موجودة دائما على مستقيم واحد فانه يحدث عن ذلك حجم مدرج مركز ثقله موجود دائما على المستقيم الواصل بين هذه المراكز

وكلما فرضت الطبقات رقيقة وعديدة كان الحجم المدرج قريبا من المنشور المائل بدون أن يكون ذلك مانعا من أن يكون وضع مركز ثقل هذا الحجم على بعد واحد من المستويات المحددة للطبقات المتطرفة

فاذن يكون مركز الثقل فى المنشور المائل او القائم موجودا فى منتصف المستقيم المار بمركز ثقل القاعدتين

ويظهر من تحليل الاسطوانة القائمة الى اسطوانات مدرجة تكون كل درجة منها اصغر من التى بجانبها ان مركز ثقل الاسطوانة المائلة او القائمة يكون موجودا فى منتصف المستقيم الواصل بين مركزى ثقل القاعدتين)

ويحدث من قسمة مجموع اضلاع المنشور الناقص على عدد الاضلاع بعد القاعدة عن مركز ثقل ذلك المنشور وذلك يكون بقياس هذا البعد بمستقيم موازٍ للاضلاع

فاذا اخذنا مركز ثقل قاعدة هرم او مخروط ووصلنا بينهما وبين الرأس بمستقيم ثم اخذنا ربع هذا المستقيم بالابتداء من القاعدة او اخذنا ثلاثة ارباعه بالابتداء من الرأس فان النقطة التى نجدها تكون مركز ثقل اما للهرم او المخروط المذكورين

(واذا قسمنا الهرم المثلثى الى طبقات رقيقة جدا بواسطة مستويات موازية للقاعدة وجدنا ان مراكز ثقل هذه الطبقات تكون موجودة فى مراكز ثقل القطاعات الموازية للقاعدة ولكن حيث ان هذه القطاعات متشابهة ونقطها المتقابلة موجودة على مستقيم واحد مع رأس الهرم فان مراكز الطبقات المذكورة وكذلك مركز الهرم تكون موجودة على المستقيم الواصل بين مركز

ثقل

ثقل القاعدة والرأس وذلك يوافق الرؤس الاربعة والاوجه المقابلة لها

وليكن غَ (شكل ٢٣) مركز ثقل قاعدة ابث لهرم

ض ابث فيكون كغ = $\frac{1}{3}$ كب وليكن ايضا غَ

مركز ثقل ض اث فيكون كغَ = $\frac{1}{3}$ كض فاذن

اذا مددنا غَغب و غغَ فان خطى كض و كب

يكونان مقطوعين قطعا مناسبا وعليه فيكون غغَ ثلث بض

وكذلك كغ يكون ثلث كب و كغَ ثلث كض

فبسبب تشابه مثلثى غغغَ و غبض يكون غغ = $\frac{1}{3}$

غض وبناء عليه يكون غغ = $\frac{1}{4}$ ضغ فاذن يكون مركز

ثقل الهرم موجودا فى ربع بعد الرأس عند مركز ثقل القاعدة)

ومركز ثقل سطح الكرة وحجمها موجود فى مركز تماثلها

ومركز ثقل الطيلسان الكروى موضوع على محور التماثل او على سهم الطيلسان

ويكون فى منتصف هذا السهم

ومركز ثقل وحجم سطوح الدوران موضوع على محورى تماثلهما

فاذا مددنا مستويا قاطعا من محور مخروط قائم مستدير تام او ناقص فان مركز

ثقل المثلث اوشبه منحرف القطاع يكون مركز ثقل سطح المخروط التام

او المخروط الناقص

ومركز ثقل حجم نصف الكرة يكون فى ثلاثة اثمان نصف القطر بالابتداء

من المركز

ومركز ثقل قطعة القطع المكافىء يكون فى ثلاثة اخماس السهم بالابتداء

من الرأس.

ومركز ثقل قطعة الجسم المكافىء المتولد من دوران القطع المكافىء على محوره

يكون فى ثلثى المحور بالابتداء من الرأس

(بيان استعمال مراكز الثقل لاجل تحصيل حجم بعض الاجسام)

ينبغى أن نفسر ونوضح هنا ماب تعيين بعض الحجوم وتعيين مركز ثقل بعض السطوح من المشابهة العظيمة فنقول

لنفرض ان مركز ثقل غ (شكل ٣٣) لسطح دائر حول محور وَوَ يكون معينا فيرسم محيط وم ه و فى حال التحرك سطح دوران

ويكون الجسم المحصور فى سطح الدوران المذكور مساويا لمسطح وم ه و مضروبا فى الدائرة التى قطعها مركز غ

ولاثبات ذلك نمد من محور وَوَ مستويين كمستويى وَح و وَخ متقاربين من بعضهما قربا كافيا بينهما زاوية صغيرة جدا فيمكن أن يعتبر ان الجسم سمته بشقة اسطوانية بين المستويين المذكورين فيكون للاسطوانة الناقصة قاعدة كقاعدة وم ه و على مستوى وَح فاذا قسمنا هذه القاعدة الى مربعات صغيرة متساوية كان كل واحد منها قاعدة لمنشور صغير قائم سمته بمستوى وَخ

وليكن ن س ص ز احد هذه المربعات الصغيرة فاذا مددنا من نقطة ى التى هى مركز المربع المذكور خط ى ى ى موازيا للمحور و و فانه يحدث معنا حجم منشور كمنشور ا ـ ش تكون قاعدته ن س ص ز و ى ى ى ارتفاعه ويكون مساويا ن س ص ز × ى ى ى وعليه فهذا الحاصل هو مقدار ن س ص ز المنقول على مستوى وخ بالنسبة الى مستوى و ح فاذن يكون مجموع حجوم المنشورات اعنى حجم قطع ح وخ مساويا لمجموع مقادير سعة وم ه و فى مستوى وخ بالنسبة لمستوى و ح

فاذا اسقطنا فى $\overline{غَ غً}$ نقطة $\overline{غ}$ التى هى مركز ثقل $\overline{و م ن و}$ حدث

سطح $\overline{و م ن و} \times \overline{غَ غً}$ = مجموع مقادير $\overline{و م ن و}$ الموضوع فى مستوى $\overline{و غ}$ بالنسبة الى مستوى $\overline{و ح}$ فاذن يكون الحاصل هكذا

سطح $\overline{و م ن و} \times \overline{غَ غً}$ يساوى حجم جزء من جسم الدوران محصور بين $\overline{وَ ح}$ و $\overline{وَ غ}$

وعلى ذلك فيكون $\overline{غَ غً}$ مساويا للمسافة التى يقطعها مركز $\overline{غ}$ لينتقل من مستوى $\overline{وَ ح}$ الى مستوى $\overline{وَ غ}$ متى فرضنا ان المستويين متقاربان من بعضهما تقاربا كليا.

فاذن يحدث من سطح $\overline{و م ن و}$ مضروبا فى مسافة $\overline{غَ غً}$ التى يقطعها مركز ثقله عند دورانه حول محوره وهو $\overline{و وَ}$ حاصل مساو لحجم جزء من جسم الدوران محصور بين مستويى $\overline{وَ ح}$ و $\overline{وَ غ}$

ويمكن أن نتوهم عدة مستويات بقدر ما يراد تكون متقاربة من بعضها بالكلية ومارة بالمحور فيكون حجم جزء جسم الدوران المحصور بين هذه المستويات مبينا بحاصل ضرب سعة $\overline{و م ن و}$ فى المسافة التى يقطعها مركز ثقل هذه السعة

وعلى ذلك متى كان الجسم حادثا من سعة مستوية دائرة حول محور كان حجم هذا الجسم مساويا لحاصل ضرب السعة فى المسافة التى يقطعها فى هذا التحرك مركز ثقل هذه السعة

والاثبات المتقدم يبقى على حالة واحدة متى كانت سعة $\overline{و م ن و}$ الدائرة حول $\overline{و وَ}$ لاجل الانتقال من $\overline{وَ ح}$ الى $\overline{وَ غ}$ دائرة حول محور ثان مرسوم فى مستوى السعة لاجل قطع جزء كبير اوصغير من سطح الدوران

الحديد ثم حول محور ثالث مرسوم فى مستوى السعة وهكذا
وفى جميع هذه الاحوال يكون الجسم المنتهى بسطح جديد مساو بالسطح السعة
الراسمة مضروبا فى المسافة التى يقطعها مركز ثقل هذه السعة

(تطبيق)

هذه الطريقة السهلة مستعملة عند المعمارجية الماهرين فى حساب حجوم
اوكميات الاحجار والحديد والاخشاب التى تحتوى عليها السلالم الحلزونية
والعقودات المستديرة ومستعملة ايضا عند مهندسى القناطر والجسور
فى حساب حفر وردم الخلجان وكذلك عند الطوبجية فى حساب حجم الاجزاء
المستديرة من المخارج النارية وهلم جرا ويكثر استعمالها ايضا عند
صناع السفن فى تكعيب الاخشاب
ويجب على التلامذة أن يلتفتوا كل الالتفات الى ما بين خواص الهندسة
والميكانيكا من الروابط الاكيدة فان الميكانيكا بدون الهندسة ليست الا عملا
بلا علم وممارسة بلا موقف وربما استحالت بدونها وكذلك الميكانيكا لا بد
للهندسة منها فانها تكسب الهندسة اشغالا مهمة وذلك لانها تحدث لها
آلات متنوعة لاجل اجراء سائر العمليات الدقيقة على وجه الصحة والضبط
والسهولة ولنشمر الآن عن ساعد الجد والاجتهاد فى بيان النسب التى لا بد منها
لهذين العلمين الظريفين لاجل تطبيقهما معا على الصناعة فنقول

(الدرس الخامس)
(فى بيان ما بقى من قوانين التحرك)

قد تقدم الكلام على قوانين التحرك الحاصل من القوى المتجهة على مستقيم
واحد وتقدم ايضا انه اذا كان قوتان واقعتين على نقطة مادية فى اتجاه واحد
مدة زمن معلوم كانت المسافة الكلية المقطوعة فى هذا الزمن باقية على حالة
واحدة متى كانت النقطة المادية متحركة فى مبدء الامر بالقوة الاولى ثم بالقوة
الثانية
فاذا فرضنا مثلا ان سفينة سارت مع الانتظام والرياح تدفعها من خلفها

وكان عليها ملاح يسير من مؤخرها الى مقدمها مع الانتظام ايضا وفرضنا ان هذا الملاح وصل بعد زمن معلوم الى المقدم متبعا اتجاه سير السفينة فان المسافة الكلية التي يقطعها تكون عين المسافة التي يقطعها لو سار من المؤخر الى المقدم في الزمن المذكور حال استقرار السفينة واذا كان الملاح مستقرا والسفينة سائرة فان الريح ينقله معها بالانتظام في الزمن المعلوم بالسرعة الاصلية لها

وليست المسافات المقطوعة وحدها هي التي تبقى على حالها في هاتين الصورتين بل كذلك القوة الكلية المستعملة لتحريك الملاح والسفينة فانها ايضا تبقى على حالها ولا يلزم للسفينة والملاح اكثر من قوة واحدة سواء كان تحركهما حاصلا في زمن واحد وفي ازمنة متوالية

والمسافة الكلية المقطوعة بواسطة القوتين المؤثرتين معا هي في الصورتين المذكورتين مجموع المسافات المقطوعة اذا كان كل من القوة التي تسير السفينة الى الامام والقوة التي تسير الملاح كذلك مؤثرا على حدته

ولنفرض الآن ان الملاح عند تقدم السفينة يرجع القهقرى من المقدم الى المؤخر فالحاصل حينئذ يكون كما لو كان الملاح مستقرا والسفينة تتقدم او بالعكس بمعنى انها مستقرة وهو يتأخر فبناء على ذلك تكون المسافة الكلية المقطوعة عند حصول التحركين معا مساوية لفاضل المسافات المقطوعة متى كان الملاح متحركا بقوته الاصلية دون غيرها او كان متحركا بالقوة التي تتقدم بها السفينة

واقول ان خاصية المادة وهي كونها تقطع المسافة الكلية في زمن معلوم اذا كانت عدة قوى مؤثرة معا على اتجاه واحد وكان تأثيرها بالتعاقب في الزمن المذكور ليست مقصورة على الاجسام المعدة للتحرك بتأثير القوى المتجهة على مستقيم واحد بل هي عامة مهما كان اتجاه تلك القوى

فاذا اردت أن تعرف لذلك مثالا سهلا يستعمل كثيرا في التحركات المركبة فضع نفسك في زورق وسر فيه من جهة الى اخرى حال استقراره فان سار الى

الامام فى جهة الطول فانك لاتستمر على هذا التحرك الانتقالى بالسرعة المنتظمة ولواستعملت كمية واحدة من القوة لتتحرك بها

فاذا اطلقت بندقة اوطبنجة من نقطة من السفينة الى اخرى فان الرصاصة تصل الى النقطة المعينة اذا كانت السفينة مستقرة اومتحركة بشرط أن لايتغير هذا التحرك لمدة المسافة التى تقطعها الرصاصة من وقت خروجها من البندقة او الطبنجة الى الهدف المعين ولنبحث عن الطريق الذى تسلكه الرصاصة المذكورة فنقول

لنفرض ان الرصاصة اوغيرها من الاجسام كجسم آ (شكل ١) تكون مدفوعة بقوتين مرموز اليهما بسهمى اس و اص فان اثرت القوة الاولى وحدها فانها تسير جسم آ فى ازمنة متساوية مسافات اب و بث و ثد الخ المتساوية على مستقيم اب الذى هو امتداد اس وان اثرت القوة الثانية وحدها فانها تسير جسم آ المذكور فى تلك الازمنة المتساوية مسافات اَبَ و بَثَ و ثَدَ الخ المتساوية على مستقيم اص الذى هو امتداد اص

فاذا اثرت قوة اس وحدها مدة الزمن الاول فانها تنقل جسم آ الى ب ثم اذا اثرت قوة اص وحدها مدة زمن مساو للزمن المذكور فى اتجاهها الاصلى فانها تسير جسم آ على مستقيم بب المساوى لمستقيم اَبَ والموازى له

واذا اثرت قوة اس وحدها فى الزمنين الاولين فانها تنقل جسم آ الى ث ثم اذا اثرت قوة اص وحدها مدة زمنين مساويين للزمنين المذكورين فانها تسير جسم آ على مستقيم ثث المساوى لمستقيم اَثَ والموازى له وهكذا

وبالجملة فنقط ب و ث و د الخ التى ينقل فيها الجسم حين تكون قوتا اس و اص مؤثرتين على التعاقب هى عين النقط التى يصل اليها هذا الجسم متى فرض ان هاتين القوتين تؤثران معا مدة زمن واحد وايضا

خاصية

خاصية الخطوط المتناسبة (راجع الدرس الخامس من الهندسة) التى يحدث منها

اب : ب ب :: اث : ث ث :: اد : د د ...

تستلزم ان نقط ا و ب و ث و د الخ تكون على مستقيم واحد وان اشكال اب ب و اث ث و اد د الخ تكون متوازية الاضلاع ويكون اقطارها موضوع على مستقيم اب ث د الخ فاذن متى وقع على الجسم تأثير قوتين فانه يتحرك على مستقيم واحد ويتبع وتر متوازى الاضلاع الذى يكون كل ضلع منه دالا على المسافة التى يقطعها الجسم المذكور اذا كان مدفوعا مدة زمن واحد باحدى القوتين المركبتين

وعليه فمتى كان القوتان المركبتان مبينتين مقدارا واتجاها بمستقيمى اب و اب فان محصلتهما تكون مبينة ايضا مقدارا واتجاها بوتر متوازى الاضلاع وهو اب ب الذى ضلعاه اب و اب وهذا هو المسمى بمتوازى الاضلاع للقوى

(ولا مانع من أن نبرهن على خاصية متوازى الاضلاع للقوى برهنة صحيحة فنقول

لنفرض قوتين حيثما اتفق كقوتى س و ص المبينتين (شكل ٢) بمستقيمى ام و ان وتتم بهذين المستقيمين متوازى الاضلاع وهو ام ب ن ولنوقع على نقطة ن من مستقيم ب ن وعلى امتداده قوتين متضادتين كقوتى س و ص متساويتين لقوة ص فيعدمان بعضهما ولا يغيران محصلة س و ص

ونركب الآن س مع س و ص مع ص

فاذا كانت ص المتجهة على ش ك محصلة قوتى س و س المتوازيتين حدث

س : س :: ان : ن ب :: اش : ش ن

لكن حيث ان خط ش ك مواز ن ب يحدث من خاصية الخطوط
المتناسبة (كما في الدرس الخامس من الهندسة)

ان : ن ب :: اش : ش ك

فاذن يكون ش ك = ش ن وبمد مستقيم ك ن ر تكون
زاويتا مثلث ك ش ن وهما ش ك ن و ش ن ك
متساويتين وكذلك زاوية ك ن ب تكون مساوية لكل منهما
فاذن يقسم مستقيم ك ن ر زاويتي ان ب و ص ن صه
الى جزئين متساويين وحيث ان قوتي ص و صه متساويتان
فان محصلتهما وهي ر تكون موضوعة على ك ن ر اذ لا مقتضى
لكونها تقرب من احدى قوتي ص و صه المذكورتين اكثر من
الاخرى

فعلى ذلك تكون محصلة قوتي س و ص عين محصلة قوتي ض و ر
لكن تكون محصلة القوتين الاولين مارة بنقطة ا المشتركة بينهما وتكون
محصلة القوتين الاخريين مارة بنقطة ك المشتركة بينهما فاذن تكون
محصلة س و ص مارة بنقطتي ا و ك أعني انها تكون مارة
بمستقيم اك ب الذي هو وتر متوازي الاضلاع وهو ام ب ن
الذي ضلعاه وهما ام و ان دالان على قوتي س و ص
المركبتين

ولاجل تحصيل مقدار محصلة ز المتجهة على ا ب (شكل ٣) نجعل زَ
مساويا ومضادا لهذه القوة وعليه فتكون قوى س و ص و زَ
متوازنة وتكون كل قوة منها مساوية ومضادة لمحصلة القوتين الاخريين

ولنرسم

ولنرسم متوازى اضلاع يكون وتره متجها على ام وضلعاه متجهين على
ان و اى = اب فتى اريد أن ان يكون دالا على
المركبة الاولى وكان ام اتجاه محصلة س وكانت المركبة الثانية
وهى ز متجهة على اى لزم أن يكون اى ضلعا من متوازى
الاضلاع وهو ان م ى فاذن يكون اى = ن م = اب
فتكون محصلة ز = ز مبينة المقدار والاتجاه بمستقيم اب وهو
وتر متوازى الاضلاع وهو ام ن اذا كان ام و ان اللذان
هما ضلعا متوازى الاضلاع المذكور دالين على المركبتين)

وكلما كان متوازى الاضلاع للقوى مطبقا على ما ينشأ عن الاعضاء من
الحركات الصغيرة وعلى حركات الآلات المستعملة والحركات الخارجة التى
نجبر على عملها لزم أن نعتبر فى سائر الاحوال ان ما نستعمله من القوى المركبة
يكون متجها على وجه بحيث يحدث منها محصلة متجهة بنفسها الى الجهة التى
يظهر لنا انها موافقة وان كمية القوى المعدومة تكون قليلة مهما امكن هذا
وقد تجاسرنا على أن نحقق ان الممارسة المصحوبة بالانتباه والمواظبة
فى الفوريقات والورش يحدث منها فى القوة والزمن وفر له فوائد عظيمة و يتيسر به
التباعد عن الاخطار المهولة ولنوضح ذلك بمثال يكثر وقوعه مع ما فيه غالبا
من الضرر فنقول

اذا كانت حركة العربة سريعة فازعجت راكبها فوثب من بابها ونط الى الارض
فان جسمه يكون مدفوعا اولا بتحرك هذه العربة الافقى وثانيا بقوة
التثاقل الرأسية فتكون محصلة القوتين المائلة سببا فى وقوع هذا الشخص
حين يصل الى الارض وحيث كان الوتر الدال على محصلة القوتين مؤثرا مع
الانحراف فان هذا القطر الذى يمر بمركز ثقل هذا الشخص لا يمر برجليه
اذا كان منتصبا فينبغى له حتى لا يقع أن يميل كثيرا عند النط بالجزء الاعلا

من جسمه الى الجهة التى تأتى منها العربة وكثيرا ما تمزقت اعضاء الناس بل منهم من هلك عند النط من عربة مجرورة بافراس ازعجتهم سرعتها وماذاك الا لجهلهم بهذه الكيفية ودهشتهم عند حصول الخطر

ومتى كان ضلعان كضلعى اب و اث من شكل متوازى الاضلاع (شكل ٤) متساويين حدث من ذلك شكل معين وقسم الوتر الزاوية الواقعة بين الضلعين الى جزئين متساويين وعليه فمتى كان قوتان متساويتين فان محصلتهما تقسم الزاوية الحادثة منهما الى جزئين متساويين فيؤخذ من ذلك انه لا داعى لان تكون المحصلة قريبة من مركبة اكثر من اخرى

ولجميع الطيور شكل متماثل بالنسبة لمستوى اد الرأسى (شكل ٥) الممتد من رؤسها الى اذنابها متى كانت منتصبة مع الاستقامة فاذا طارت حدث من اجنحتها حركات متماثلة وضربت الهواء الذى يرد تلك الاجنحة بقوتين متساويتين موضوعتين على وجه متماثل بالنسبة لمستوى اد فاذن تكون محصلة هاتين القوتين موضوعة فى هذا المستوى ودافعة لكل طائر على اتجاه مبين بهذا المستوى

وكما كان ذراعا الانسان وساقاه مستعملة على وجه متماثل كان جانباه متماثلين ولاجل تحصيل تأثير ميكانيكى اياً كان يلزم ان محصلة مجهودات هذه الاعضاء تمر بمستوى الجسم الانسانى

ومثال هذا التأثير يؤخذ من تعليم فن العوم وذلك لان العائم لاجل أن يتبع الطريق المتجهة على مستوى تماثل جسمه يصنع حركات متماثلة بيديه ورجليه كما فى (شكل ٦) ويعين اندفاع الماء على راحتى اليدين واخمص الرجلين بسهام ف و ف و ف و ف والمحصلتان برمزى ر و ر

والسمك المتماثل الصورة له بالنسبة للمستوى الرأسى الممتد من رأسه الى ذنبه (شكل ٧) امشاط موضوعة بالتماثل على جانبيه يحركها مع السوية كان العائم يحرك يديه ورجليه بحيث يحدث من ذلك ومن مستوى التماثل زاوية واحدة وهذا هو سبب كون المحصلة تكون فى هذا المستوى وتحدث

سيرا

سيرا مستقيما

وكذلك السفن المصنوعة على صورة السمك لها مستو را ـى متماثل ومتجه من المؤخر الى المقدم فنى اريد تسيير السفينة استعمل لذلك قوى متساوية موضوعة بوجه متماثل فى كل من جهتى المستوى المذكور وهذه القوى (شكل ٨) تارة تكون مجاذيف وتارة عجلات ذات كفات وتارة اثقالا (راجع القوى المحركة فى الجزء الثالث من هذا الكتاب) وقد تكون محصلة تلك القوى موضوعة دائما فى مستوى التماثل اذا كان الغرض تسيير السفينة سيرا مستقيما

وقد يؤخذ من العوم الناشئ عن قوة الهواء الجانبي تطبيق ثابت دائما يتعلق بتحليل القوى وليكن $\overline{\text{اب}}$ (شكل ٩) محور السفينة التى يكون فيها مستقيم $\overline{\text{من}}$ دالا على مسقط الشراع المستند فى نقطة $\overline{\text{و}}$ على الصارى فاذا كان $\overline{\text{وح}}$ دالا مقدارا واتجاها على قوة $\overline{\text{س}}$ التى يدفع بها الهواء الشراع يرسم متوازى الاضلاع القائم وهو $\overline{\text{وشحد}}$ الذى وتره $\overline{\text{وح}}$ فاذا حللنا قوة $\overline{\text{وح}}$ الى قوتين فان احداهما وهى $\overline{\text{وش}}$ الموجودة فى جهة شراع $\overline{\text{من}}$ لا تحدث تأثيرا ما تسير به السفينة وثانيتهما وهى $\overline{\text{ود}}$ العمودية على الشراع هى التى دون غيرها تدفع الشراع المذكور والصارى والسفينة واذا حللنا قوة $\overline{\text{ود}}$ الى قوتين اخريين فان احداهما وهى $\overline{\text{وه}}$ تكاد تسير السفينة فى جهة محور التماثل وثانيتهما وهى $\overline{\text{وف}}$ تدفعها بالجنب وتحدث التحرك المسمى بالمنحرف ويجب على صانع السفن والملاح أن يجازتركيب سفنهما وتحركها بحيث يحدث من قوة $\overline{\text{وه}}$ اعظم سير ممكن ومن قوة $\overline{\text{وف}}$ اقل انحراف ممكن

وفى متوازى الاضلاع وهو $\overline{\text{ابثد}}$ (شكل ١٠ و ١١) اذا كانت زاوية $\overline{\text{باث}}$ منفرجة جدا يكون وتره وهو $\overline{\text{اد}}$ قصيرا جدا وكلما كانت زاوية $\overline{\text{باث}}$ صغيرة كان الوتر المذكور ممتدا الى النقطة التى تكون فيها

زاوية بـاث المذكورة معدومة وحينئذ يكون اث موضوعا على اب وتكون المحصلة مساوية لمجموع المركبتين وعليه فاذا لم تكن زاوية بـاث معدومة لاتكون محصلة قوتى اب و اث مساوية بالكلية لمجموع هاتين المركبتين •

ويكثر استعمال خاصية محصلة اد وهى انتقاصها كلما زادت زاوية بـاث ولنذكر لذلك مثالا سهلا فنقول

اذا فرض ان المطلوب ربط صندوق مم بحبل من دبارة (شكل ١١) فانه يبدأ بجعل ثا الذى هو طرف الحبل المذكور مارا من حلقة ا المصنوعة فى نقطة ا التى هى طرف اب ثم يشد الطرف الخالص شدا قويا فى اتجاه قريب جدا من اث فاذا كان لايمكن تحصيل تأثير فى هذه الجهة فان هذا الطرف يوجه بالعرض الى اد ومتى شد بقوة صغيرة حدث من ذلك زاوية بـه ث اعنى ان نقطة ا تجبر على أن تكون فى ه بحيث ان الوتر الصغير وهو هف من متوازى الاضلاع يكون عند رسم هذا الشكل دالا على القوة الصغيرة لليد التى توازن شدى الحبل العظيمين وهما بـه و هث ثم يشبك طرف الحبل الخالص تحت الصندوق ثم بين هب و هث و هد الخ وتوصل نقطة ه الى نقطة ا بواسطة شد الحبل شدا تدريجيا

وكانوا سابقا يستعملون كثيرا السلاح المعروف بالنشاب او السهم فكانوا يرمونه بقوس ثهد المرن (شكل ١٢) المشدود بوتر ثد وكان هذا القوس مستعملا بكثرة وقد تقدم فى الدرس الثالث من الهندسة ان كلمة قوس ووتر ونشاب نقلت من فن الصيد والقنص والحرب واستعملت فى الفاظ العلم ولنذكر تأثير القوس فنقول

ان الانسان يقبض باحدى يديه على قوسه فى نقطة ه ويمسك بالثانية الطرف الغليظ من النشاب و يتكىء على هذا الطرف فى نقطة ف التى

هى منتصف الوتر وما يبذله من الجهد فى ابعاد نقطة ه عن نقطة ف يكون مبينا بمقدار ٢ ف غ وكذلك الجهد الحاصل على نصفى الوترين يكون مبينا بمقدار غ د و غ ث

فاذا افلتت اليد الموضوعة فى نقطة غ طرف السهم فان نصفى وترى غ ث و غ د يأخذان طولهما الاصلى وذلك لانهما يؤثران فى السهم بقوة واحدة ويجبرانه على اتباع اتجاه الوتر وهو غ ف ه

وعند الرمى تكون نسبة الشد الحاصل من كل نصف وتر الى القوة التى بها يرمى سهم اب كنسبة طول غ ث او غ د الى ضعف غ ف لان غ ف هذا هو نصف وتر متوازى الاضلاع للقوى المتألف من ضلعى غ ث و غ د

ولكن حيث كان قوس ث ه د فى العادة جسما مرنا فانه يكاد أن يكون قائما مع الشدة بقدر انطباق زاوية ث غ د وبذلك تزداد القوة التى يرمى بها السهم ايضا وبهذه الطريقة يمكن لاى انسان لا تستطيع يده رمى السهم بعيدا عنه الا ببعض خطوات مع يسير من القوة أن يرمى هذا السهم الى ابعاد كبيرة بقوة كافية ويجرح به او يقتل الانسان اوغيره من الحيوانات الكبيرة وهاك مثالا آخر يبين لك شدة قوة صغيرة جدا تؤثر بكيفية مماثلة للكيفية التى ينثنى بها وتر القوس فنقول .

اذا كان الغرض ان الهربه (اى العود الافرنجى) يكون له درجة من الشد يصل بها الى صوت لائق له لزم أن يستعمل لذلك مفتاح تضاعف به قوة ملاوى الاوتار اربع مرات او خمسا فان الرجلين الشديدين اذا قبض كل منهما بيده

على طرف بعض اوتار من العود وشده حتى يبلغ الغاية لحقهما من ذلك مشقة وتعب اذا كانت تلك الاوتار متصلة بهذه الآلة كاتصال الجزء بكله وقد حسب المهندس پرونى شد اوتار البيانو (اى القانون الافرنجى) فوجد مجموع شد انه يزيد على قوة اربعة افراس ومع ذلك فالفتى الصغير الذى اذا مد ذراعيه على طول اوتار العود لا يسندهما الا بالمشقة يجد فى اصابعه اللطيفة قوة كافية للقبض على هذه الاوتار والضرب عليها من منتصفها بانامله بحيث يحدث من ذلك نصفا وترين منزويان وهما ضلعا كثير الاضلاع (شكل ١٣) الذى يدل وتره على الجهد الحادث من اصابع الفتى المذكور ومتى فتح يده كان فى هذا الجهد قدرة كافية لان تحدث للوتر تحرك الاهتزاز الذى تسمع رنته مدة طويلة ما لم ينقطع بالدواسة او ينعدم بين انغام الاهوية والمقامات المتوالية

ولم نذكر الى هنا الا ما يتعلق بمتوازى الاضلاع البسيط للقوى اى الذى لم يتكون الا من مركبتين ومحصلتهما

ولنفرض الآن أن هنالك ثلاث مركبات مؤثرة فى نقطة مادية كنقطة ا (شكل ١٤) وليكن $\overline{\text{اب}}$ و $\overline{\text{اث}}$ و $\overline{\text{اد}}$ اجزاء من مستقيم واحد دالة طولا واتجاها على المركبات الثلاثة المذكورة فاذا رسمنا متوازى الاضلاع وهو $\overline{\text{ابهث}}$ باعتبار مستقيمى $\overline{\text{اب}}$ و $\overline{\text{اث}}$ كضلعين له كان وتره وهو $\overline{\text{اه}}$ دالا على مقدار محصلة القوتين الاولين واتجاههما بمعنى ان الجسم الواقع عليه تأثير قوتى $\overline{\text{اب}}$ و $\overline{\text{اث}}$ معا او قوة $\overline{\text{اه}}$ وحدها يقطع مسافة واحدة فى اتجاه واحد وزمن واحد

ولنركب محصلة $\overline{\text{اه}}$ الجزئية مع القوة الثالثة وهى $\overline{\text{اد}}$ فيحدث من المستقيمين الدالين عليهما متوازى الاضلاع وهو اهفد ويكون $\overline{\text{اف}}$ الذى هو وتر هذا الشكل الجديد دالا بالضرورة على محصلة $\overline{\text{اد}}$ و $\overline{\text{اه}}$ الا ان التأثير الحادث من $\overline{\text{اه}}$ يكون مكافئا للتأثير الحادث من قوتى $\overline{\text{اب}}$

و $\overline{\text{اث}}$

و اث فاذن يكون التأثير الحادث من قوة اف مكافئا للتأثير الكلى الحادث من قوى اب و اث و اد الثلاثة

ويمكن الوصول الى هذا الحاصل بكيفية اخرى وهى انه متى كانت قوتان كقوتى اب و اث (شكل ١٥) مؤثرتين فى جسم كجسم ا فان اثرت فيه القوة الاولى وهى اب وحدها فى زمن معلوم فانها تنقله من ا الى ب وان اثرت بعدها القوة الثانية وهى اث وحدها فانها تنقله ايضا من ب الى ه بالتوازى لقوة اث بحيث يكون به = اث ثم ان اثرت فيه قوة ثالثة كقوة اد وحدها فانها تنقله من ه الى ف بالتوازى لقوة اد بحيث يكون هف = اد

و بالجملة فالجسم المذكور الواصل الى ف بالتأثير المتوالى الحادث من القوى الثلاثة يكون موجودا مع الضبط فى النقطة التى كان يصل اليها لو كانت هذه القوى الثلاثة كلها مؤثرة فيه فى زمن واحد لاجل نقله

وهذه الكيفية لاتغاير الكيفية السابقة الا بكونها دون المتقدمة فى الصعوبة وذلك لانه ينقص فيها الضلع الثالث والرابع من متوازى اضلاع شكل ١٤

فاذا كان هناك عدد ما من القوى كقوى وا و وب و وث الخ (شكل ١٦) المؤثرة فى نقطة مادية فان هذه النقطة تنقل فى زمن معلوم الى مسافة ابعد من المسافة التى نقل اليها الجسم فى صورة ما اذا اثرت فيه القوى كل واحدة على حدتها مع التوالى لاجل نقله الى اتجاهها الاصلى فى الزمن المذكور وحينئذ نمد بالتوالى مستقيمات اب و بث و ثد الخ موازية ومساوية فى الطول لمستقيمات وب و وث و ود الخ ثم نصل نقطة و الاولى بنقطة هـ الاخيرة من هذه الاضلاع المتسلسلة فيكون مستقيم وهـ دالا على محصلة جميع المركبات المبينة بمستقيمات وا و وب و وث و ود الخ

فاذا غلقنا حينئذ بمستقيم وهـ كثير الاضلاع وهو واب ثد ... هـ و

كان هذا المستقيم دالا على المحصلة الكلية متى كان كل من الاضلاع دالا على قوة مركبة

فاذا عكست محصلة وهـ الى و هـ فان هذه القوة المحصلة المضادة للمركبات بدون واسطة تكون موازنة لتلك المركبات ومن هنا الدعوى النظرية اللطيفة المنسوبة الى المهندس ليبنتز وهى اذا كان هناك قوى بقدر مايراد واقعة على نقطة مادية وكانت هذه القوى مبينة مقدارا واتجاها فى سمت متتابع باضلاع شكل كثير الاضلاع منتظما كان او غير منتظم غير أنه يكون تاما ومغلوقا فان هذه القوى كلها تكون متوازنة بالضرورة

ويوجد فى كثير الاضلاع وهو م ن ح خ ر ض (شكل ١٧) زاوية داخلة كزاوية ر خ وهذه الزاوية لابد منها فى عمل كثير الاضلاع لان اتجاه سهم خ ر يدل على الجهة التى ينبغى أن يرسم فيها ضلع خ ر لتكون القوى المتوازنة متعاقبة كلها فى جهة واحدة وبالجملة فكل ضلع من كثير الاضلاع يدل على مقدار القوى واتجاهها

وفائدة الكيفية التى اعتبر فيها تركيب القوى هى انها تستعمل ايضا فى القوى المؤثرة فى مستو واحد او عدة مستويات مختلفة وذلك مهم جدا فى كثير من الحالات

وينتج من ذلك انه اذا لم تكن قوى وا و وب و وث و ود الخ (شكل ١٦) كلها فى مستو واحد لاتكون اضلاع كثير الاضلاع وهو وا ب ث د الخ الموازية لاتجاهات تلك القوى كل لنظيره فى مستو واحد غير أنه فى هذه الصورة تكون محصلة جميع القوى وهى وهـ مبينة مقدارا واتجاها بمستقيم وهـ الممتد من نقطة و التى هى مبدأ كثير الاضلاع وهو وا ب ث د الخ الى نقطة هـ التى ينتهى فيها آخر الاضلاع الدالة على القوى المركبة

وكلما

وكما سهل عمل كثير الاضلاع وهو و ا ب ث د الخ على الورق او على الارض اذا كان هذا الشكل بتمامه فى مستو واحد كان عمله صعبا ومتعبا اذا لم تكن اضلاعه التى يتركب منها فى مستو واحد

هذا وقد ظهر لنا مما سبق فى الدرس الثالث والسابع والثالث عشر من الهندسة فى الجزء الاول من التعريفات والقضايا طريقة مختصرة مضبوطة فى تحصيل اتجاه المحصلة ومقدارها مهما كان عدد القوى المركبة واتجاهها ومقدارها وحاصلها انه لاجل تحصيل مسقط مستقيم م ن (شكل ١٨) الموضوع على مستو بالنسبة الى محورى و س و و ص يكفى أن ننزل من نهايتى هذا المستقيم بعمودين على محورى المسقط المذكور فيكون جزآ م ذ و م ذَ المحصوران بين هذين العمودين هما المسقطان المطلوبان فاذا مددنا م م الى ا و م م الى ب فانه يحدث متوازى الاضلاع وهو م ا ن ب الذى يمكن اعتبار م ن فيه كقوة محصلة مركبتاها مبينتان بمستقيمى م ب = م ذ و م ا = م ذَ حيث ان هذين المستقيمين الاخيرين متوازيان ومحصوران بين متوازيين آخرين كما تقدم فى الدرس الثانى من الهندسة

وما ذكرناه فى شان القوة الواحدة يمكن اجراؤه فى قوتين او ثلاثة او اربعة او اكثر من ذلك ومهما كان مقدار القوى واتجاهها فان كل واحدة منها تكون مبينة بمسقطيها على محورين متقاطعين

فاذا كان هناك عدد ما من القوى مثل م ن و ن ح الخ (شكل ١٨) فانه يكفى أن نأخذ مساقطها على محورى و س و و ص المتقاطعين ثم نعتبر أن الجسم يتحرك من جهة على و س بقوى م ذ و ذ ع و ع خ الخ ومن جهة اخرى على و ص بقوى م ذَ و ذَ عَ و عَ خَ الخ فيكون التأثير الناشئ عن ذلك واحدا دائما لانه حينئذ يكون مستقيم

م خ الفالق لكثير الاضلاع وهو م ن ح خ دالا على محصلة قوى
م ن و ن ح و ح خ ويكون مسقطاها وهما م غ و مَ غَ
هما مجموع المساقط الجزئية اوفاضلها فاذا كانت قوى م ة و ة ع و ع غ الخ
و مَ ةَ و ةَ عَ و عَ غَ الخ مؤثرة على مستقيم واحد فان محصلتها
تكون اولا متجهة على هذا المستقيم وثانيا تكون مساوية لمجموع
سائر القوى المتجهة الى جهة ناقصا مجموع القوى المتجهة الى اخرى تقابلها
ولاشيء اسهل في العمل من هذا البيان

ولنفرض (شكل ١٧) جملة من القوى مبينة بمستقيمات م ن
و ن ح و ح خ الخ فاذا اسقطنا هذه المستقيمات على محور و س
في م ة و ة ع و ع خ الخ فان قوتي م غ و ر ضـ يكون
دفعهما الى جهة مضادة لجهة م ة و ة ع و غ ر الخ وعلى ذلك
تكون المحصلة مساوية م ة + ة ع + غ ر − ع غ + ر ضـ
ومن البديهي ان م ة + ة ع − ع غ هو م غ وان غ ر
− ر ضـ هو غ ضـ فاذن تكون المحصلة الكلية مساوية م غ + غ ضـ
اعني م ضـ وهذا الجزء المحوري هو مسقط م ص الذي يغلق كثير
الاضلاع للقوى وبناء على ذلك يكون هو الدال على محصلة م ن
و ن خ و ح ح الخ

فاذا كانت جميع قوى م ن و ن ح و ح خ الخ (شكل ١٨)
في مستوى محوري و س و و ص فان التحركات الحادثة من نقطة
م على محوري المسقط تكون دالة دلالة تامة على التحركات الحادثة
من م بواسطة قوى مركبة ايا كانت كقوى م ن و ن ح

و ح

و ح خ الخ

ولكن اذا لم تكن القوى المذكورة فى مستوى المحورين لزم اخذ ثلاثة محاور عمودية على بعضها بأن نأخذ مثلاً مستويا رأسيا ومستويين افقيين احدهما متجه من الشمال الى الجنوب والآخر من المشرق الى المغرب

وعلى ذلك اذا انزلنا على المحاور باعمدة من نهايتى كل مستقيم دال على قوة كانت المساقط دالة على ثلاث قوى بحيث يؤول الامر الى ان النقطة المادية المتحركة بالتوالى على اتجاه كل من القوى المذكورة تصل الى الوضع الذى كانت تصل اليه لو كانت متحركة بقوة واحدة اصلية

وكذلك يتضح بواسطة متوازى الاضلاع تحليل قوتين وتركيبهما على مستو ويتضح ايضا بواسطة متوازى السطوح تحليل وتركيب ثلاث قوى فى الفراغ كما تقدم فى الدرس السابع من الهندسة الذى تكلمنا فيه على متوازيات السطوح

وحينئذ اذا مددنا وتر $\overline{اغ}$ (شكل ١٩) من زاوية ا الى زاوية غ المقابلة لها فمن البديهى انه اذا اخذنا الوتر المذكور مع اضلاع $\overline{اب}$ و $\overline{اث}$ = $\overline{به}$ و $\overline{اد}$ = $\overline{هغ}$ الثلاثة تحصل من ذلك كثير اضلاع $\overline{ابهغا}$ مغلوقا من سائر جهاته فاذن يمكن أن نعتبر ان $\overline{اغ}$ الذى هو ضلع كثير الاضلاع المذكور يكون دالا مقدارا واتجاها على قوة $\overline{اغ}$ المتوازنة مع القوى الثلاثة المبينة على وجه التناظر مقدارا واتجاها بمستقيمات $\overline{اب}$ و $\overline{اث}$ و $\overline{اد}$

فعلى ذلك اذا كانت قوة $\overline{اغ}$ مثلا تكفى فى نقل نقطة ا الى نقطة غ فى زمن معلوم فان قوة $\overline{اث}$ تنقل فى زمن مساو لهذا الزمن النقطة المذكورة من ا الى ب ثم تنقل كذلك قوة $\overline{اث}$ فى زمن مساو له نقطة ا من ب الى ه وكذلك قوة $\overline{اد}$ تنقل فى زمن مساو له ايضا

نقطة ا من ه الى غ

فاذن اذا كانت القوى الثلاثة المبينة بمستقيمات $\overline{اب}$ و $\overline{اث}$ و $\overline{اد}$ مؤثرة معا فانها تنقل ا الى غ في عين الزمن الذى تكون فيه كل من هذه القوى مؤثرة على حدتها بالتوالى اوالذى تكون فيه محصلة $\overline{اغ}$ مؤثرة دون غيرها

ولننبه هنا على انه اذا اطلق اسم محاور المسقط على مستقيمات $\overline{اب}$ و $\overline{اث}$ و $\overline{اد}$ فان اجزاء $\overline{اب}$ و $\overline{اث}$ و $\overline{اد}$ تكون بالضبط على هذه المحاور مساقط لوتر $\overline{اغ}$ الذى هو محصلة تلك القوى الثلاثة

ثم ان هذه الطريقة التى سلكناها وان كانت مطولة الا انه لابد منها حتى يعرف ان الخواص التى يستصعبها المبتدى ويهابها انما هى من قبيل المبادى

واذا حللنا كلا من القوى التى يمكن وقوعها على جسم واحد الى قوتين موازيتين لمحورين معلومين او الى ثلاث قوى موازية لثلاثة محاور معلومة فانه يتحصل من ذلك كثير من القوى الموازية لكل محور بقدر ما يوجد من القوى المختلفة الواقعة على الجسم مهما كان مقدارها واتجاهها وبذلك يؤول تأثير القوى التى لا مشابهة بينها من حيث اتجاهاتها الى تأثير القوى المتوازية بلا واسطة

فاذا كان لسائر القوى المتحصلة من التحليل المذكور محصلة واحدة مارة بمركز ثقل الجسم فانها تكاد تسير الجسم المذكور الى الامام على خط مستقيم بدون دوران كما لو كانت محولة الى قوة واحدة مساوية لمجموعها وموازية لاتجاهها المشترك بينها

واذا كان لسائر القوى المذكورة محصلة غير مارة بمركز الثقل المتقدم فان هذه المحصلة تؤثر فى الجسم تأثيرا يديره ويلزم الاعتناء بالبحث عن كيفية حصول

هذا

هذا التحرك فلنفرض أن قوة اس لاتكون مارّة بمركز الثقل وهو غ
(شكل ٢٠) فمن حيث ان ٠غا عمود ممتد من نقطة غ الى اس
الذى هو اتجاه تلك القوة فان تحرك الجسم لا يتغير متى اضيف اليه قوة واحدة
كقوة غ سـ موازية ومساوية لقوة اس وقوتان كقوتى اصـ
و اص الموازيتان لقوة غ سـ المتجهتان بالتضاد والمساوية كل واحدة
منهما النصف غ سـ والموضوعتان على وجه بحيث تكون غا = غا
لان قوة غ سـ متوازنة مع اصـ و اص غير أن قوة اص
لما كانت نصف قوة اس وكانت متجهة الى جهة مضادة لها اعدمت
نصف اس وبناء على ذلك يكون الجسم متحركا بثلاث قوى احداها قوة
غ سـ المارة بمركز ثقل الجسم والمساوية لقوة اس والثانية نصف اس
المؤثرة فى جهة اس والثالثة اصـ المساوية لنصف اس والمتجهة
الى جهة مضادة لها

وحيث كانت القوتان المساويتان لنصف قوتى اس و اصـ بعيدتين
بالسوية عن مركز الثقل وهو غ كانتا مؤثرتين تأثيرا به يدور مركز الثقل
المذكور بدون أن يسيراه الى جهة اكثر من اخرى حيث لا مقتضى لكون
احدى القوتين المذكورتين المتساويتين المتجهتين بالتوازى الى جهتين
متقابلتين تجذب المركز المذكور الى جهتها زيادة عن القوة الاخرى

فعلى ذلك اولا لا يتقدم مركز الثقل ولا يتأخر بواسطة تأثير نصف قوتى
اس و اص وثانيا يكون هذا المركز منقولا بتأثير قوة غ س
على خط مستقيم بالنسبة الى تأثير قوة مساوية لقوة اس وموازية لها
وبناء على ذلك اذا كان هناك عدة قوى مؤثرة فى جسم له صورة ما وحللنا اولا

جميع تلك القوى بالتوازى الى محاور معلومة ثم عينا ثانيا المحصلة الكلية للقوى المذكورة لاجل نقلها بالتوازى الى مركز الثقل فان هذا المركز يتحرك تحركا مستقيما كما لو كانت تلك القوى واقعة كلها على مركز الثقل المذكور بدون واسطة وهذه هى القضية الشهيرة المتعلقة بحفظ مركز الثقل وتسميته بذلك مما لابد منه لاسيما فى هذه الخاصية وهى أن التحركات الداخلية الحادثة فى الجسم من تأثير اجزائه بعضها فى بعض اومن مقاومتها لبعضها لاتغير شيأ من تحرك مركز الثقل بالنسبة لنقط الفراغ الخارجية

ثم ان لعب البليار (وهى تختة كبيرة يلعب عليها باكر صغيرة من العاج اوسن الفيل) يؤخذ منه عدة امثلة متنوعة واضحة جدا وخواص التحرك الحادث للاجسام من تأثير قوة غير مارة بمركز ثقلها فاذا دفع البيل (وهى كرة صغيرة من العاج اوسن الفيل) على غير اتجاه مركزه بل على يمينه مثلا فانه يسير اولا الى الامام بالسرعة التى كان يسيرها لو دفع على اتجاه مركزه وثانيا يكون له تحرك مستدير من اليمين الى الشمال وذلك مع السير الى الامام

فاذا دفع من فوق مركز الثقل فانه يسير الى الامام ايضا مع السرعة التى كان يسير بها لودفع على اتجاه مركزه ويكون له تحرك دوران من فوق الى تحت وذلك ايضا مع سيره الى الامام

وقد يكون التأثير بخلاف ذلك اذا وقع البيل على شمال مركز الثقل اوتحته فاذا دفع من تحت مركز الثقل فان المقاومة الحادثة من احتكاك سطح البليار بالبيل تكون متزايدة واذا دفع من تحت المركز وكان ذيل قضيب الدفع مرفوعا فانه يسير مع البطئ كما لو كان ذيله مؤثرا بالتوازى للبليار وحينئذ يمكن ان سرعة الدوران تنقله الى الغاية التى لاتنعدم فيها السرعة المذكورة بتمامها بسبب الاحتكاك المذكور عند انعدام سرعة البيل المتوالية وزوالها بالكلية وحيث كانت مقاومة سطح البليار مستمرة دائما كالقوة المعطلة كان بعض هذه المقاومة منقصا لسرعة دوران البيل والبعض الآخر مؤثرا كما لو كان منقولا الى مركز البيل المتأخر بذلك البعض وهذا هو السبب فى انه يمكن من اول دفعة

من ذيل قضيب البليار تقديم البيل ثم تأخيره

وهنالك تأثيرات مشابهة لتأثيرات لعب البليار توجد في تحرك كال المدافع والقنابر ويتحصل منها فوائد عظيمة جدا معرفتها من اهم الاشياء في فن الحرب وهي الغرض الاصلي من فن الطوبجية

(الدرس السادس)

في بيان الآلات البسيطة وهي الحبال والقناطر المعلقة وعدد خيول العربات وادوات السفن ولوازمها وما اشبه ذلك

يطلق اسم الآلات على الاجزاء المادية المجتمعة المستعملة لنقل اى قوة من القوى بان يغير اتجاهها او سرعتها او المسافة الافقية التي يقطعها الجسم في زمن معلوم

والآلات البسيطة سبع ومنها تتألف جميع الآلات المركبة وهذه الآلات البسيطة هي الحبال والرافعة والبكر والملفاف (اى المنجنيق) والمستوى المائل والبريمة والخابور وسنبين كلا منها تفصيلا على حسب ماتقتضيه اهمية موضوعه ولنشرع في ذكرها على هذا الترتيب فنقول

(بيان الحبال)

قد فرض المهندسون اولا لاجل سهولة معرفة خاصية الحبال المستعملة لنقل القوى انها لينة وغير قابلة للامتداد ومجردة عن التثاقل ثم نظروا الى مايلزم اعتباره فيها من شدها كثيرا او قليلا ومدها وتثاقلها فبحثوا (بالنظرة والتجربة) عن التغيرات التي يمكن عروضها للعواصل الاصلية بخواص المادة التي تتركب منها الحبال المذكورة

ثم ان تحويل المسائل الصعبة الى اصولها السهلة ليس الا كيفية عقلية بها يتقوى الفهم السقيم وتسهل وسايط العمل فلذا آثرناها في البحث عن خواص الحبال وسائر الآلات البسيطة

فلنفرض اذن حبلا على غاية من اللين غير قابل للامتداد ومجردا عن التثاقل ثم نبدء بايقاع قوة واحدة على كل من طرفى هذا الحبل ونفرض ان هاتين

القوتين الشادتين للحبل فى جهتين متقابلتين متساويتان فبتأثيرهما يكون الحبل مشدودا اشدّا مستقيما وطرفاه على اعظم بعد ممكن فعلى ذلك تكون القوتان المذكورتان متوازنتين اذ لاداعى لكون الحبل المشدود من طرفيه يتقدم الى جهة اكثر من اخرى

فاذا ـــ ان هنالك قوة ثالثة شادّة للحبل فى جهة احدى القوتين الاولتين فان هاتين القوتين يعدمان بعضهما ويكون تحرك الحبل من جهة القوة الثالثة فقط كما لو كانت القوتان الاوليان لم يوجدا اصلا وهذا التحرك الحادث على اتجاه الحبل لايمنعه من أن يكون على خط مستقيم فاذن لا يكون الحبل مشدودا الا بالقوة الثالثة واما القوتان الاوليان المتوازنتان فلا يحصل منهما الا هذا التوازن الناشئ عن شدّ كل منهما للحبل

ونتيجة ذلك تكون واحدة مهما كان طول الحبل ويؤخذ من ذلك ان الشدّ الحادث يكون ايضا واحدا فى كل من نقط الحبل التى هى ث و ا الخ

وبالجملة فلاجل معرفة شدّ الحبل من نقطة منه كنقطة ث (شكل ١) نفرض ايقاع قوتى اس و ب ص على تلك النقطة وكذلك لاجل معرفة شدّه من نقطة ا نفرض ايقاع قوتى اس و اص عليها ولا يتغير تأثير هاتين القوتين مهما كانت نقطة وقوعهما

وينتج من ذلك ان شدّ الحبل من نقطة ث مثلا يكون (كما تقدم قريبا) واحدا كما فى طرف ا فاذن يكون الشدّ واحدا فى جميع اجزاء الحبل

ولنفرض الآن انه يكون للحبل فى جميع طوله قوة ثابتة ماعدا نقطة واحدة تكون اضعف من غيرها فبازدياد القوتين المتضادتين تدريجا بكمية واحدة يتوصل الى حدّ يكون فيه الشدّ (المفروض انه واحد فيما عدا النقطة المذكورة) قليلا لاجل نقض الحبل فى النقطة الضعيفة المذكورة دون غيرها من النقط الاخرى فاذن يحصل نقض الحبل فى هذه النقطة ويكون التوازن معدوما

وهذه الكيفية هى التى تستعمل فى الفنون مع الضبط لقياس قوة الحبال فاذا اريد استعمال الحبال فى تثبيت الاشيا التى ينبغى المحافظة على امساكها او فى تعليقها

فلابدّ

فلابد من تحقق أن هذه الحبال تحمل مايعرض لهـا من المجهودات العظيمة بدون نقض ولاانقطاع وعلى ذلك فيلزم أن نعرف من مبدء الامر المقاومة التي تقبلها تلك الحبال اوالقنن المتخذة من الحديد المستعملة الآن عند البحارة الفرنساوية لانه اذا نظر في كل كلبة من السلسلة الى رداءة الحديد المتخذة منه او رداءة صناعته يكفي ادنى قوة في جعل القنة عرضة للكسر كما اذا كانت الكلبات كلها على هذا النسق

واذا كان الحبل قصيرا قلت الموانع التي تمنعه عن أن يكون في بعض نقطه اضعف منه في البعض الآخر واذا اخذنا طرفي حبل غير متساويين في الطول وشددناهما شدا متساويا فان الطرف القصير منهما يكون قابلا لتحمل جهد عظيم من غير انقطاع اكثر من الطرف الطويل

ولنفرض ان كلا من الطرفين يقع عليه قوى متعددة بدلا عن القوة الواحدة فلتكن اس و اسً و اسٌ الخ (شكل ٢) هي القوى المؤثرة في الحبل من احد طرفيه و بص و بصً و بصٌ الخ هي القوى المؤثرة فيه من الطرف الآخر فيمكن ابدال قوى اس و اسً و اسٌ الخ بقوة واحدة تكون محصلة لها وكذلك نبدل قوى بص و بصً و بصٌ الخ بقوة واحدة تكون ايضا محصلة لها ثم نعين تلك القوة بموجب القوانين الاعتيادية المتعلقة بتركيب القوى فنرسم كثير اضلاع تكون اضلاعه مساوية وموازية للمستقيمات الدالة على جملة القوى الاولى وكثير اضلاع آخر تكون اضلاعه مساوية وموازية للمستقيمات الدالة على جملة القوى الثانية ويكون مستقيما اس و بص الغالقان لكثيري الاضلاع المذكورين دالين على المحصلتين ويلزم لاجل التوازن ان تكون المحصلتان متجهتين الى جهتين متضادتين على اتجاه حبل اب وأن يكونا متساويتين

فاذا لم تكن القوتان متساويتين حصل التحرك فى جهة كبراهما وتكون السرعة على نسبة منعكسة لجسم الحبل المعد للتحرك وهكذا (كما تقدم فى الدرس الثانى)

(تطبيق ما تقدم على ضرب النواقيس)

النواقيس التى تضرب فى الكنائس مشدودة بحبل اب الرأسى (شكل ٣) فاذا كان الناقوس ضخما بحيث لا يمكن لشخصين او ثلاثة ضربه مع السهولة بشدهم جميعا للحبل المذكور فانه يربط فى الطرف الاسفل من حبل اب الاصلى حبال صغيرة كحبال اس و اس و اس الخ ويقبض كل منهم على هذه الحبال ويشدونها كى يحدث للناقوس التحرك الموافق له ولاجل تحصيل المحصلة يكفى عمل كثير الاضلاع وهو اس س س الخ الذى تدل اضلاعه وهى اس و س س و س س الخ مقدارا واتجاها على قوى اس و اس و اس الخ

وبمد مستقيم اس بين نقطة ا ونهاية الضلع الاخير يغلق كثير الاضلاع للقوى الذى يكون فيه هذا المستقيم دالا على المحصلة وبالجملة فيلزم فى الصورة التى نحن بصددها أن تكون هذه المحصلة فى اتجاه حبل اب الرأسى ويقف عادة ضاربو الناقوس المتقاربون فى القوة على شكل دائرة ويكونون على بعد واحد من بعضهم بحيث يكون مركز هذه الدائرة فى الوضع الرأسى لحبل اب وبهذا الوجه تمر محصلة قواهم ضرورة بمستقيم اب

(بيان الكبش (اى الشامردان) وهو الآلة المعدة لدق الخوابير)

ما ذكرناه فى صورة ضرب النواقيس يجرى ايضا فيما اذا اريد أن يشد بحبال صغيرة الحبل الاصلى الذى يحرك الكبش المستعمل لدق الخوابير وقد غلب على هذه الآلة اسم آلة الضرب لانها تضرب كناقوس الكنيسة الضخم ولاجل الوقوف على حقيقة هذه الآلة يلزم معرفة خواص البكرات

ولم

ولم نتكلم الى هنا الا على الحبال المشدودة من اطرافها فقط ولنفرض زيادة على ذلك انها تكون مشدودة من نقطة متوسطة فنقول

ليكن اس و بص (شكل ٤) هما القوتان الواقعتان على ا و ب اللذين هما طرفا حبل اثب و ثز هى القوة الواقعة على نقطة ث المتوسطة فتكون هذه القوى الثلاثة متوازنة عند نقل بص الى ثصـ و اس الى ثسـ فيكون ثزَ الذى هو وتر متوازى الاضلاع الحادث على ضلعى ثسـ و ثصـ مساويا ومقابلا لقوة ثزَ على وجه الصحة والضبط

ولنفرض أن قوة اس (شكل ٥) المبينة بمستقيم ثسـ وقوة بص المبينة ايضا بمستقيم ثصـ يكونان متساويتين فاذن يكون متوازى الاضلاع وهو ثسـزَصـ شكلا معينا وتكون زاويتا سـثزَ و صـثزَ متساويتين بمعنى أن مستقيمى ثاس و ثبص يحدث عنهما مع اتجاه محصلة ثزَ زاوية واحدة

ولكن تكون قوة ثزَ قريبة او بعيدة عن ثبص اكثر من ثاس على حسب كبر ثصـ اوصغره عن ثسـ وذلك متعلق بصورة مثلثى ثسـزَ و ثصـزَ المتساويين

فاذا كان هناك اربع قوى كقوى اس و بص و اَسَ و بَصَ (شكل ٦) واقعة على نقطتى ث و ثَ يلزم أن يكون التوازن حاصلا حول كل من النقطتين المذكورتين وهلم جرا

فاذا كان حول نقطة ث مثلا قوتا اس و بص اللتان يلزم

أن تكون محصلتهما متجهة على امتداد ثَ ثَ ودالة على الشدّ الكلى

الحادث من هاتين المركبتين على حبل ثَ ثَ الصغير فبرسم متوازى

الاضلاع وهو ثَ صـ زسـ الذى فيه ثَ سـ = أس و ثَ صـ

= بَ صَ يحدث أن ثَ ز يساوى شدّ حبل بَ ثَ

وكذلك نقطة ثَ فانه اذا رسم متوازى اضلاع ثَ صـ ز صـ

الذى فيه ضلع ثَ سَ = أَ سَ و ثَ صَ = بَ صَ

يحدث أن ثَ زَ يساوى شدّ الحبل ولاجل توازن ثَ ثَ يلزم

أن يكون شدّا ثَ ز و ثَ ز المتضادان متساويين

ولننبه هنا على ان تعيين شدود اث و ثَ ثَ و ثَ أَ الخ المتنوعة

لاعلاقة له بطول اجزاء أب و بَ ثَ و ثَ دَ الخ وانه عند

زيادة هذا الطول اونقصه تتغير حالة الشدود ماعدا توازنها فاذن يمكن

أن يفرض انعدام واحد منها اواكثر بدون أن ينعدم ذلك التوازن وبناء

على ذلك اذا كان هنالك عدّة قوى واقعة على نقط متنوعة من حبل واحد

فباتباعها كلها على نقطة واحدة منه بدون تغيير مقدارها واتجاهها

مع نقلها بالتوازى لنفسها وتخليصها من الحبل المذكور تكون متوازنة

فاذا كان هنالك حبل مشدود بقوى واقعة على نقط مختلفة حدث عنه شكل

كثير الاضلاع ولهذا يسمى كثير الاضلاع الحبالى ويلزم أن تكون القوى

المؤثرة حول كل نقطة متوازنة مع الشدود الحادثة من إضلاع كثير الاضلاع

الذى تكون هذه النقطة رأساله

وثم امثلة عديدة تتعلق بتوازن كثير الاضلاع الحبالى وذلك اذا علقنا اثقالا

فى حبل لايكون طرفاه على رأسى واحد وسيظهر لك من القناطر المعلقة التى

سنتكلم عليها فى آخر هذا الدرس مثال آخر فى شأن الاشكال الكثيرة الاضلاع

الحبالية

الحبالية وفى شأن فائدة تقويماتها

ولتكن اصـ و بـز و ثـن و دن ن (شكل ٧) قوى رأسية فتكون محصلتها وهى ر ر رأسية ايضا ومساوية لمجموعها ولا مانع أن تكون هذه المحصلة معينة بدون واسطة بالدعوى النظرية المتعلقة بالقوى المتوازية ولاجل حصول التوازن فى كثير الاضلاع الحبالى يلزم أن قوة ر ر الدالة على مجموع قوى اصـ و بـز و ثـن و دن ن توازن شد طرفى الحبل اللذين هما ا و د وذلك يقتضى اولا أن اتجاهى قوتى اسـ و دع المتطرفين يتقاطعان فى نقطة و على ر ر التى هى محصلة القوى المتوازية وثانيا انه اذا اخذنا وسَ = اسـ و وعَ = دع على مستقيمى واسـ و ودع فان وتر متوازى الاضلاع الحادث على هذين الضلعين يكون مساويا ر ر مساواة صحيحة ويكون رأسيا كسائر القوى المركبة

واما الشدود الحاصلة من اجزاء حبل ابـثـد المتنوعة فانه يسهل دائما تعيينها باعتبار أن كل قوة موالية مثل اسـ و بـز الخ كوتر متوازى الاضلاع الذى ضلعاه ممتدان وهما اسـ و ابـ او ابـ و بـث او بـث و ثـد الخ فتكون اضلاع هذا الشكل دالة على شدود الحبال الصغيرة وبهذا الوجه يعين شد طرفى كل حبل صغير كحبال ابـ و بـث و ثـد فاذا كان التوازن باقيا على حاله لزم ان يكون هذا الشد باقيا على حاله ايضا فى طرفى كل حبل صغير لان الحبل بدون ذلك يتقدم الى جهة الشد الاكبر كما لو اثر فيه مباشرة قوتان غير متساويتين

ولنتكلم هنا على تثاقل الحبال مبتدين بالحبل المثبت من طرفيه والمخلى ونفسه معلقا فنقول

يمكن أن نعتبر ان هذا الحبل مركب من عدد غير محدود من المستقيمات الصغيرة

المتساوية المائلة قليلا على بعضها بحيث يحدث عنها المنحنى الذى يتبعه الحبل المذكور ليكون بذلك متوازنا وساكنا فاذا اعتبرنا حبلين اى ضلعين من هذه الاضلاع الصغيرة المتوالية كضلعى اب و ب ث (شكل ٨) كانت محصلة ثقل كل منهما قوة مارة بمنتصفهما وهما م و ن فيحدث حينئذ عدة قوى كقوى م س و ن ص و وز متوازية ومتساوية وموضوعة على وجه بحيث تكون نقط وقوعها وهى م و ن و و على بعد واحد من بعضها

وتكون محصلة تلك القوى مساوية لمجموعها ومتجهة اتجاها رأسيا ولتكن ر ر رمزا الى هذه المحصلة فيلزم بحسب ما تقدم ان ف ف و غ غ اللذين هما الضلعان الاخيران من كثير الاضلاع الحبالى يتقاطعان بواسطة امتدادهما على محصلة ر ر المذكورة

وبناء على ذلك يتقاطع مماسا منحنى ف اب ... غ فى نقطتى ف و غ دائما على اتجاه محصلة ثقل الحبل المخلى ونفسه معلقا وهى محصلة مارة بمركز ثقل الحبل المذكور

(وتستعمل هذه الخاصية عند علماء الرياضة فى تحصيل معادلة تفاضلية تتعلق بالمنحنى الحادث من الحبل المخلى وقسمه لتثاقله الا انه ليس فى القواعد المستعملة ما يكفى فى تحصيل الكميات المجهولة الموجودة فى المعادلة التى يتعين بها صورة ذلك المنحنى بكيفية صحيحة واما ارباب الفنون فيمكنهم أن يحسبوا هذا المنحنى ويعينوا جميع اجزائه بواسطة الاقيسة المتكررة ويصلوا بالعمل على وجه سهل الى تحصيل الخواص التى لا يمكن أن يتوصل اليها بعلم التحليلات)

وقد يكون المنحنى الحادث من الحبل المثنى بواسطة تثاقله باقيا على حالة

واحدة

واحدة سواء كان هذا المنحنى حبلا لينا متواصلا او كان سلسلة كبيرة كانت اوصغيرة مركبة من كلبات صغيرة فيحدث من هـذه السلسلة شكل كثير الاضلاع مؤلف من عدد غير محدود من الاضلاع الصغيرة جدا وذلك هو شرح هذه المسئلة وقد اطلق اسم السلسلة على المنحنى الذى تتبعه تلك السلسلة اوحبل على غاية من اللين مثبت من طرفيه ومخلى ونفسه لتأثير التثاقل

و يكثر استعمال هـذه السلسلة فى فنون الميكانيكا وغيرها من الفنون المستظرفة

وتكون القنن اوالسلاسل المشار اليها برمز $\overline{\text{اب}}$ (شكل ١٤) التى بها تتوازن السفن مع قوتى الهواء والتيار على صورة سلاسل كثيرة الانحناء اوقليلته على حسب شدها ومن هـذا القبيل حبال السحب اى اللبانات التى يشدها الرجال اوالخيول بواسطة حبال صغيرة مربوطة فى نقط مختلفة من الحبال الاصلية ثم ان شد الحبال الكبيرة والصغيرة والنقل وانعدام قوى الجر كل ذلك مسائل مهمة تحل بواسطة القواعد المذكورة فى هذا الدرس ولنزد استعمال تلك السلاسل نوع ايضاح فيما يتعلق بادوات السفن فنقول

يلزم أن ننسب الى السلسلة او الى كثير الاضلاع الحبالى توازن الحواشات وهى الحبال الممدودة من احد شاطئى الانهر الى الشاطئ الآخر وهى مربوطة فى نقط مرتفعة ارتفاعا كافيا بحيث تمر من تحتها السفينة ذات الصارى ويمكن أن يجرى على الحواش (بواسطة البكر) الطرف الاعلى من الحبل الذى يكون طرفه الاسفل ممسكا للمركب وهـذا الحبل اياما كان وضعه يقع عليه شد ناشئ عن التأثير الحادث فى السفينة من التيار وقد يكون هـذا الشد متوازنا مع شدين آخرين حادثين من جزءى الحواش الموضوعين على يمين الحبل الممسك للمركب وعلى شماله ولاجل معرفة القوة

التى تكون لذلك الحبل او الخواش يلزم عمل حسابات الشدود الكبيرة الواقعة عليه وكيفية ذلك تعلم من خواص السلسلة وكثير الاضلاع الحبالى المتقدمين

واهم تطبيقات السلسلة والحبال على العموم هو ما ينسب للقناطر المعلقة (شكل ١٥) غير أنه يلزم قبل تعريفها أن نذكر الخواص الهندسية المتعلقة بالسلسلة لانها كثيرة الفوائد فنقول

اذا كان ا و ب اللذان هما طرفا سلسلة اهثفب (شكل ٩) موضوعين على ارتفاع واحد كانت السلسلة المذكورة التى هى على صورة المنحنى متماثلة بالنسبة الى رأسى دث الممتد من نقطة د التى هى منتصف اب وحينئذ فلا داعى لكون جزء الشمال وهو اهث يخالف فى الصورة والمقدار جزء اليمين وهو بفث

وقد يحدث من الاكاليل وخيوط الذهب والحرير والقياطين والاهداب والازهار المعلقة فى نقط ليست على رأسى واحد سلاسل يتنوع تماثلها بتنوع الانحناآت والاوضاع وظرافة هذا التنوع من اسرار الفن الذى الغرض الاصلى منه زخرفة المنازل والعمارات العامة

ولابد للنقاشين والمصورين من معرفة الانحناء الذى يكون للسلسلة حتى يجعلوا الاشياء المزخرفة على شكل محيطات حقيقية

فاذا اعتبرنا أن نقطة ه تكون ثابتة (شكل ٩) وحذفنا اه فان الجزء الباقى وهو هثب لا يكون خارجا عن التوازن فاذا مددنا حينئذ مستقيم هف الافقى واخذنا نقطة ف عوضا عن نقطة ب وجعلناها نقطة ثابتة فان جزء هث يكون متماثلا مع فث

فاذا لم يكن طرفا السلسلة (التى هى على صورة المنحنى) وهما ه و ب موضوعين فى ارتفاع واحد فانا اذا مددنا من طرف ه الذى هو دون الطرف الآخر فى ارتفاع خط ه ف الافقى كان جزء السلسلة وهو ه ث ف الموضوع تحت الافقى المذكور متماثلا بالنسبة لعمود ث غ النازل من نقطة غ التى هى منتصف ه ف وكانت نقطة ث منخفضة عن جميع نقط السلسلة المذكورة

وحيث ان منحنى ه ث ف متماثل بالنسبة لرأسى ث غ فان مركز ثقل هذا المنحنى يكون على الرأسى المذكور ولنمد مستقيمى ه و و ف و مماسين للمنحنى المذكور فى نقطتى ه و ف ثم نأخذ جزء و ر الرأسى ونجعله دالا على ثقل ذلك المنحنى فتكون اضلاع متوازى الاضلاع وهو و ر ر َ دالة على الشدود الحاصلة للحبل فى نقطتى ه و ف ولكن المطلوب الآن الشد الحاصل فى نقطة ث التى هى اخفض نقط المنحنى فاذا مددنا ث و و و ب (شكل ١٠) مماسين للمنحنى فى نقطتى ث و ب فان مركز ثقل منحنى ث ب يكون على رأسى و غ المار بنقطة و واذا رسمنا على و غ و و ث و و ب الممتدة متوازى الاضلاع وهو و ح خ ض فيدل و ح على ثقل قوس ث ب كان و ض دالا على الشد الحاصل فى نقطة ث وخط و خ دالا على الشد الحاصل من المنحنى فى نقطة ب لكن يرى فى متوازى الاضلاع المذكور أن ح خ = و ض وحيث ان و ح ض مثلث قائم الزاوية فان و خ يكون دائما اطول من و ض

بمعنى أن الشد الحاصل من المنحنى فى نقطة ب يكون دائما اقوى من الشد الحاصل للمنحنى فى نقطة ث

وكلما صعد الانسان الى اعلى حدث من مماس بو خ مع الخط الرأسى زاوية حادة جدا وبقى طول وض على حاله وازداد طول وح كثقل المنحنى واخذ ضلع وخ فى الازدياد فعلى ذلك يكون شد المنحنى عظيما جدا فى نقطه الكثيرة الارتفاع

فاذا فرضنا حينئذ أن المنحنى له قوة واحدة فى جميع طوله فان اول ما يحصل الانقطاع يكون فى النقط الاكثر ارتفاعا من غيرها فلو فرضنا أن المنحنى يقاوم فى هذه النقطة لكانت مقاومته فى النقط المتوسطة بالطريق الاولى

فاذا امتد فى مثلث ح وض (شكل ١٠) القائم الزاوية ضلع وح الذى هو ضلع زاوية و القائمة وبقى الضلع الآخر وهو وض على حاله فان الضلع الاكبر وهو ح ض يقرب شيأ فشيأ من مساواة ح و

ولنفرض الآن أن الشكل الذى يدل عليه منحنى ث ب (شكل ١١) و (شكل ١٢) يزيد مقداره او ينقص دفعة واحدة مع التناسب فى جميع اجزائه فنقول ان التوازن يكون ثابتا لا يتغير اصلا وان صورة المنحنى بهذا السبب لا تتغير ايضا

وذلك لانه فى المنحنى الجديد اذا كانت نقطة م مثلا فى وضع يشبه وضع نقطة م فى المنحنى الاول حدث من مماس م و مع رأسى د ث و الزاوية التى تحدث من مماس م و مع رأسى د ث و وحيث ان طول المنحنيين مناسب لبعدى ب د و ب د فان نسبة ثقل منحنى و ح الى ثقل منحنى و ح تكون مساوية لنسبة شد و خ الى شد و خ الحاصلين للمنحنيين فى نقطتى م و م

فعلى

فعلى ذلك يكون الشدّان متزايدين من جميع الجهات فى نسبة واحدة مع ثقل الحبل و يكون وضعهما فى هذه الحالة مشابها لوضعهما فى الحالة الاولى فيكونان متوازنين عند تأثيرهما فى منحن صورته واحدة

ولنذكر قاعدة اصلية وهى ان الشدّين الحاصلين للمنحنيين المتشابهين فى نقطتين متشابهتى الوضع تكون نسبتهما كنسبة البعدين المتشابهين او المتقابلين فى هذين المنحنيين

فبناء على ذلك اذا قابلنا بين منحنيين متشابهى الشكل وكان احدهما اصغر من الآخر مرتين واثقل منه مرتين او اصغر منه ثلاث مرات واثقل منه ثلاث مرات او اصغر منه اربع مرات واثقل منه اربع مرات فان الشدّ الحاصل لهذين المنحنيين فى نقطتين متشابهتى الوضع يكون واحدا

ولنقابل الآن بين الشدّين الحاصلين لمنحنيين غير متشابهين فلانفرض الامنحنيات قليلة الانحناء جدا لاجل الاختصار فى البحث والاقتصار فى الاشتغال على هذه الصورة العامة النفع فى الفنون ونعتبر أن هذه المنحنيات لها ثقل واحد فى طول واحد ونفرض أن النقط الثابتة تكون دائما على بعد واحد من بعضها

ومتى كان للمنحنى $\overline{اثب}$ مثلا (شكل ١٣) انحناء قليل جدا امكن بدون خطاء كبير أن نعتبر أن مركز ثقل كل جزء كجزء $\overline{ثب}$ من هذا المنحنى يكون موجودا على رأسىّ $\overline{هف}$ الموضوع على بعد واحد من طرفى $\overline{ث}$ و $\overline{ب}$ فاذا اقمنا من نقطة $\overline{غ}$ التى هى المركز المذكور رأسىّ $\overline{هغف}$ الى مستقيم $\overline{اب}$ حدث معنا أن $\overline{دف} = \overline{فب}$ واذا انزلنا من نقطة $\overline{ب}$ عمود $\overline{بح}$ على $\overline{ثه}$ الممتدّ حدث معنا أن $\overline{ثه} = \overline{هح}$

ولنجعل الآن نقطتين فى المنحنى كنقطتى $\overline{ث}$ و $\overline{ب}$ ثابتتين ونمدّ مماسى $\overline{ثه}$ و $\overline{هب}$ المتطرفين فيكونان ضلعين لمتوازى الاضلاع وهو

ثهف الذى وتره هف ويكون هذا الوتر دالا على ثقل قوس ثب وضلعاه وهما هب و هث دالين على الشدين الحاصلين للحبل فى نقطتى ب و ث

فاذا كان سهم شد صغيرا جدا بالنسبة لطول اب فلا فرق بين ثب و هب وبين فب و ثه فاذن يكون شد الحبل او السلسلة الحادث عنها المنحنى واحدا تقريبا فى سائر امتداده غير أنه لاجل ابقاء الشد على حالة واحدة فى جميع نقطه يلزم أن يكون سهم شد معدوما فاذا اعتبرنا الآن أن ثقل المنحنى ثابت ومدلول عليه بخط ور فان الشد الحاصل للحبل فى نقطة ب يكون مدلولا عليه بخط وخ فنمد لاجل ذلك خر افقيا الى وخ الممتد الذى هو امتداد مماس به

ولكن يوجد معنا مثلثا بهى و وخر المتشابهان اللذان يوجد فيهما به : بى :: وخ : ور فاذن يكون

$$\text{وخ} = \text{ور} \times \frac{\text{به}}{\text{بى}}$$

وحيث ان بى يساوى شد و به يختلف قليلا عن ½ بد فانه اذا كان بى = شد صغيرا جدا حدث على وجه تقريبى

$$\text{وخ} = \text{ور} \times \frac{\text{سد}}{\text{شد}}$$

فاذا لم يتغير حينئذ بعد طرفى ا و ب وثقل الحبل الذى يدل عليه ور فان شد وخ يصير على نسبة منعكسة من سهم شد فاذن يلزم أن يكون شد وخ الحاصل فى نقطة ب او فى نقطة ا عظيما جدا ليكون شد

صغيرا

صغيرا جدا اومعدوما بالكلية وبناء على ذلك اذا كان هناك حبل مشدود شدا افقيا من طرفيه فانه يلزم أن يكون مشدودا بقوتين عظيمتين جدا حتى يكون ممدودا بالضبط مدا مستقيما

وقد حق لنا أن نبرهن تفصيلا على هذه الحالة نظرا لمن يقول بصعوبتها فنقول اذا كان هناك حبل خفيف جدا وليس هناك ما يعارضه واريد شده شدا قويا من نقطتين موضوعتين على ارتفاع واحد فانه يتعذر شده من النقطة التى يكون فيها مستقيما بالكلية

(بيان تطبيق ما تقدم على ادوات السفن)

ثم ان استعمال الخواص التى ذكرناها فى شأن المنحنى لا يخلو عن فائدة عظيمة وبه تظهر المجهودات التى تتحملها الحبال فى كثير من الصور المهمة والمراد بادوات السفن مجموع الحبال المستعملة فى اسناد صوارى السفينة وقرياتها وفى تحريكها

فصوارى شد و ه‍ف و غ‌ش الراسية (شكل ١٥) ممسكة من جزءها الاسفل بعدة من الشواحى وبجزءها الاعلى عقدة جارية مصنوعة من حبل عظيم يسمى عندهم بالميدة او الجاغوص وهو الذى يستند عليه الصارى وهذه العقدة تنزل من المؤخر الى المقدم وتثبت فى نقطة من السفينة ومتى ارتفع المؤخر وانخفض المقدم عند الاضطراب والتحرك فان الميدة تكون مقاومة وتمنع الصارى عن الكسر عند سقوطه الى جهة الخلف ونستعمل الميدة زيادة على ذلك لتعادل ما ينشأ عن الحلية او الاطراف من المجهودات العظيمة والحلية او الاطراف هى حبال منثنية من منتصفها ومربوطة فيه بحيث يحدث عنها فتحة عريضة تمر بها رأس الصارى فيتكون من طرفى كل حبل حليتان اوطرفان يكونان ثابتين على جانب واحد فلذا تراهم يضعون بالتعاقب للصارى الواحد حليتين فى جانب السفينة الايمن وآخرين فى الجانب الآخر

وتكون الاطراف شاذة معالرأس الصارى عند الهبوط من منتصف السفينة الى جانبيها ومن الامام الى الخلف

فاذا كانت الميدات والاطراف مائلة بحيث لايحدث عنها خطوط مستقيمة مهما كان الشد الحاصل لها فانه يحدث عنها منحنيات والمنحنيات الحادثة عن الاطراف لها انحناء ظاهر قليلا لان هذه الحبال تقرب من الاتجاه الراسى قربا كافيا بخلاف المنحنيات الحادثة عن الميدات والجواغيص البعيدة كثيرا عن الاتجاه الرأسى المذكور فان انحناءها يكون ظاهرا بالكلية

ثم ان المنحنى الحادث عن الميدة او الحلية يتغير انحناؤه فى كل دفعة جديدة تعرض له من الريح او الامواج

فاذا دفع الهواء السفينة من الخلف الى الامام تقص انحناء المنحنى الحادث عن الاطراف لاجل ازدياد انحناء المنحنى الحادث عن الميدات

واذا هبت الريح من جهة نقص انحناء المنحنيات الحادثة عن الاطراف الموجودة فى هذه الجهة لاجل ازدياد انحناء المنحنيات الحادثة عن الاطراف الموجودة فى الجهة التى تقابلها

وقد يكون اعتبار الاطوال التى تقبلها المنحنيات الحادثة عن الاطراف والميدات اما بمقتضى المادة التى تتركب منها هذه الحبال او بمقتضى جنس المنحنيات الحادثة عنها مهما جدا فى ادوات السفن وفن الملاحة

ويمكن أن نستعمل عرضا عن الحبال المتحدة السمك فى جميع طولها الحبال التى ينقص سمكها من الجهة السفلى بحيث لايكون لها فى نقطها المنخفضة الا القوة اللازمة لمقاومة الشد الاصطناعى الذى يحدث فى هذا الجزء لكل طرف من الاطراف

ويعسر فى هذه الصورة الاخيرة صناعة الحبال الا انه يترتب عليها وفر عظيم وبها تصير ادوات السفن خفيفة جدا وهنالك ايضا كثير من التحسينات ليس هذا محلها لان ماذكرناه يكفى فى بيان الكيفية التى بها يتيسر فى كل وقت حساب شد الحبال واتجاهها الانفع

بيان

(بيان القناطر المعلقة)

ولنوضح الآن كيفية عمل هذه القناطر وتوازنها فنقول

لنفرض أن حبلا او سلسلة يمتد بين نقطتى ا و ب وأن حبالا او سلاسل اخرى رأسية يقال لها حفاظية مثل م مَ و ى ىَ و و وَ و ع عَ الخ تربط فى هذا الحبل من نقط مختلفة منه على بعد واحد من بعضها ويوضع حبلان متساويان مثل حبل ام ى وع ..... ب بجانب بعضهما ويكونان على ارتفاع واحد ويوصل بعوارض افقية اطراف تلك الحبال الحفاظية الموضوعة بحذاء بعضها ثم يوضع على هذه العوارض المتوازية سقف فيكون ذلك هو القنطرة المعلقة

ولاجل تعيين شروط توازن القنطرة المذكورة يلزم أن نعتبر أن كل حبل مثل ا ى م و .... ب يحمل جزأ من القنطرة ثقله واحد فى خلال الحبال الحفاظية بخلاف ثقل تلك الحبال فانه يزداد كلما قربنا من طرفى الحبل

وحيث ان ثقل الحبال الحفاظية قليل بالنسبة لثقل القنطرة الكلى فلا نزاع أن الحبل الثقيل يحمل اثقالا متساوية فى مسافات افقية متساوية وحينئذ يكون المنحنى الحادث من الحبل المذكور قطعا مكافئا وقد برهن على ذلك فى كتب اخرى

وعلى ذلك فيمكن أن نحصل فى اسرع وقت وضع مركز ثقل حبل ام ى ب ونقطة ط التى يتقاطع فيها مماسا ذلك الحبل لانه فى القطع المكافى الذى سهمه ــم يكون ــم = م ط

فاذا رسمنا متوازى اضلاع مثل ط ا م ــ على اط و ب ط اللذين هما مماسا سلسلة التعليق المعتبرة كقطع مكافىء حدث عن ذلك أن نسبة ثقل السلسلة الى الشد الحاصل لها فى نقطة ط تكون كنسبة م ط

الى $\overline{اط}$ فاذا مددنا $\overline{اب}$ موازيا الى $\overline{اب}$ حدث هذا التناسب وهو

$\overline{مط} : \overline{اط} :: ٢ \overline{ب ط} : \overline{اط} :: ٤ \overline{ب م} : \overline{اط} :: ٨ \overline{ب م} : ٢ \overline{اط}$

وبالجملة فمتى كان سهم $\overline{ب م}$ صغيرا بالنسبة لطول $\overline{اب}$ امكن

أن نعتبر أن ٢ $\overline{اط}$ و $\overline{اب}$ متساويان فاذن تكون فى هذه الحالة نسبة

ثقل السلسلة الى الشد الحاصل لها فى نقطة آ كنسبة سهم السلسلة

ثمانى مرات الى بعد $\overline{اب}$ الحاصل بين آ و ب اللتين هما نقطتا

الارتكاز

وينبغى لنا أن ننبه على أن هذا المقدار ليس الا تقريبيا ومتى تعذر اختلاط

طولى $\overline{اط}$ و $\overline{اب}$ ببعضهما بدون خطا بين لزم اخذ نسبة $\overline{اط}$

: ٤ $\overline{ب م}$ عوضا عن $\overline{اب}$: ٨ $\overline{ب م}$

ويسهل علينا حساب قوة الحبال الحفاظية الرأسية بتقسيم ثقل سطح القنطرة

على عدد تلك الحبال ويلزم أن يكون سمك الحبال المذكورة مناسبا لعدد

الكيلوغرامات الذى يوجد فى خارج هذه القسمة

ثم ان القناطر المعلقة الكبيرة المشيدة لعبور الانهر العظيمة يصنعها مهندسوا

القناطر والجسور واكابر المتعهدين واما القناطر الصغيرة الوفرية (اى القليلة

المصاريف) المعدة لعبور الامطار والسيول والمجارى الصغيرة ومشى الناس

وسير النقالات الصغيرة ونحو ذلك والمستعملة ايضا وصلة بين عمارتى معمل كبير

واحد فانها تصنع بدون صعوبة ولا بد منها فى سائر فروع الصناعة

ويستعمل فى هذه القناطر غالبا سلوك من حديد بدلا عن السلاسل وتكون

هذه السلوك مجموعة على صورة حزمة يحيط بها سلك على هيئة برِّيمة حلزونية

كالاوتار المعدنية التى فى آلات الموسيقى (واقل قوة تفرض للسلك هو أن يحمل

٤٠ كيلوغراما فى كل مليمتر مربع من القطاع بدون أن ينقطع فلا يحمل

فى كل مليمتر الا ٢٠ كيلوغراما) وقد تكون قضبان الحديد مستعملة

كالحبال الحفاظية فتكون العوارض الصغيرة التى عليها الواح بسيطة طوالية

كافية فى تمام القنطرة وفى هـذه العمارات وفر عظيم على مافيها من الصلابة عند تناسب شكلها وابعادهـا بموجب ماذكرناه فى هذا الدرس من القواعد المتعلقة بتوازن الحبال

ثم ان المهندس سغوين دونناى وهو اول من شيد القناطر المعلقة فى مملكة فرانسا بسلوك من حديد قد ابدى فى هذا المعنى مثالا كثير الجدوى وهو انه صنع فى معمله قنطرة لعبور المشاة من الناس طولها ثمانية عشر مترا تقريبا وعرضها ستة دسيمترات ولم تبلغ مصاريفها الاخمسين فرنكا والف كتابا فى المبادى كثير الفائدة لمن اطلع عليه ممن يرغب فى عمل القناطر المعلقة الصغيرة ومن اراد التشبث بالمهم من اشغال هـذا النوع فعليه بمطالعة رسالات الميرالاى دوفور التى تحليلاتها مما اشتملت عليه رحلاتنا الى جزائر ابريطانيا الكبرى وبالاطلاع على كتاب المهندس ناويه احد اعضاء جمعية العلماء وهو كتاب جليل يشتمل على دقائق تلك الاشغال و بالوقوف على الجزء الثالث من رحلاتنا المذكورة الذى تكلمنا فيه على القوة التجارية وبينا فيه تخطيط القناطر الكبيرة المعلقة المصنوعة فى انكلترة والقبائل الفرنساوية وذكرنا فيه مستوياتها •

وحيث انتهى الكلام على الحبال الواقع عليها تأثير قوى حيثما اتفق وكذلك تأثير التثاقل نتكلم الآن على الحبال التى تطبق على سطح الاجسام الصلبة فنقول اذا كان الحبل مطبقا على بسطح ومشدودا من طرفيه فانه بالضرورة يتغير وضعه بقدر ماتحركه كل قوة الى جهة اتجاهه الحقيقى وبقدر ملياخذه ذلك الحبل من الوضع الذى يشغل فيه طولا عظيما على السطح ولا يمكن حصول التوازن فى ذلك الا فى الوضع الحقيقى الذى يشغل فيه الحبل المذكور على السطح وضع اقصر خط يمكن مده بين نقطتين حيثما اتفق من نقط تماس الحبل بالسطح فيكون حينئذ للخطوط القصيرة التى يمكن رسمها على السطوح ارتباط ضرورى بوضع توازن الحبال المطبقة على السطوح والمشدودة من اطرافها (والخاصية الهندسية لهذه المنحنيات وهى الحبال المذكورة هى انه اذا رسمنا

من كل نقطة من نقطها مستويا ملاصقا لها يلزم أن يكون هذا المستوى
عموديا على السطح الذى يكون المنحنى المذكور مرسوما عليه وبناء على ذلك
اذا دققت عدة اوتاد فى نقط مختلفة من المنحنى عموديا على سطح ر مع ملاحظة
اتجاه المنحنى بحيث يحدث من الاشعة البصرية مستو يمر بكل من مماس المنحنى
والوتد العمودى على النقطة المعتبرة كان المستوى الحادث من الاشعة
البصرية المذكورة ملاصقا للمنحنى الذى يظهر انه لا انحناء له اصلا فى تلك
النقطة وهذه الخاصية يمكن استعمالها على وجه تقريبى فى اقصر منحن يمكن
رسمه على السطح بالابتداء من نقطة معلومة فى اتجاه معلوم)
واذا كان الحبل منثنيا على سطح وكان مؤثرا على كل من طرفيه قوة لزم أن تكون
هاتان القوتان متساويتين حتى يحصل التوازن فان لم يكونا كذلك فان الحبل
يتحرك فى جهة كبراهما كأنه لم يكن هناك الا قوة واحدة مؤثرة فى تلك الجهة
وهذه القوة ليست الا فاضل القوتين الاصليتين
ويكثر فى الفنون استعمال الحبال المشدودة على السطوح فاذا اراد صناع
السفن أن يجعلوا لسطح اضلاع السفينة وسطح حوافيها انحناء تاما متواصلا
فانهم يشدون على الجهة الطويلة حبالا ويجعلون لها اتجاها منتظما جدا
فى جهة طول الحوافى المذكورة ثم يرفعون بالتوالى الاجزاء البارزة كثيرا من
قطع الخشب الموجودة بين المسامير المختلفة التى يثبت بها الحبل على السطح
فيكون لهذا الحبل المشدود من طرفيه اتجاه وانحناء اقصر خط يمكن رسمه
على سطح السفينة بين المسامير المتوالية
وهذه السطوح يمكن احاطتها احاطة تامة بحبل طرفاه منضمان الى بعضهما
ومتصلان اتصالا تاما بواسطة عقدة اوغيرها ولا يصل هذا الحبل الى الوضع
الذى يكون فيه متوازنا الا اذا كان تابعا بالضبط لاتجاه اقصر خط يمكن مده
من النقطة التى يوجد فيها العقدة وذلك يكون عند الدوران حول الجسم
لاجل الوصول الى العقدة المذكورة
ويوجد فى ملابس الرجال والنساء ما يشبه تلك الحبال المطبقة على السطوح

وذلك

وذلك كالقوايش والاحزمة فانها اقصر خطوط يمكن رسمها على سطح الجسم مباشرة اومستورا بالملابس فاذا كان وضع الحزام مرتفعا فانه يكاد أن ينخفض واذا كان وضعه منخفضا فانه يكاد أن يرتفع

وهنالك عدة اشياء من زينة النساء والرجال متخذة من خيوط كبيرة اوصغيرة ممتدة على سطح الرأس كالسلاسل والقياطين المجدولة مع الشعر فى العصابات اليونانية والرومانية وكتيجان آسيا والقياطين المرسلة من الاكاف الى الاوراك وسيور النعال ونحو ذلك

وينبغى أن تكون الاربطة والاساور والاطواق والاقراط شبيهة بالسلاسل الموضوعة على سطوح متنوعة اوبخطوط التركيب التى تحيط بسطح السوق والاذرعة والاصابع والرقبة فى الاتجاهات القصيرة من الاعضاء

وسيأتى لك عند الكلام على تحرك البكرات أن الحبال تكون موضوعة فى حلق دواليب البكرات المذكورة حسبما يقتضيه اقصر خط يمكن رسمه فى هذا الحلق

ويؤخذ من جر العربات بالخيول تطبيقات مفيدة متنوعة جدا تتعلق باختلاط الخطوط القصيرة التى يمكن رسمها على سطح جسم هذه الحيوانات وليست المزانق والقشاطات والالجمة وغيرها من عدد الخيول خارجة عن القاعدة المقررة فى شأن توازن الحبال المطبقة على السطوح

وهاهنا انتهى الكلام على الحبل من حيث تطبيقه على سطح واحد وشده من طرفيه فقط ولنفرض الآن انه يكون مشدودا زيادة على ذلك من نقطة متوسطة فتوجد شروط التوازن فى هذه النقطة اذا فرضنا ان القوتين اللتين تشدان الحبل من طرفيه تكونان منقولتين على اتجاه الحبل المذكور الى النقطة التى تكون القوة المتوسطة مؤثرة فيها ويلزم أن تكون هذه القوى الثلاثة متجهة ومتناسبة معا بحيث تكون متوازنة فى النقطة المذكورة كما لو كان الحبل لا ينسب لسطح ما من السطوح

ثم ان القواعد المذكورة فى شأن الاشكال الكثيرة الاضلاع الحبالية من حيث تساوى الشدود فى كل نقطة متوسطة واقع عليها تأثير قوة خاصة هى عين

القواعد المطبقة على الاشكال الكثيرة الاضلاع الحبالية التى تكون فيها اجزاء الحبال منثنية على سطح ما و يلزم دائما أن تكون الشدود الحاصلة فى جزئين من الحبل اعنى على يمين القوة المتوسطة وشمالها متوازنة مع هذه القوة وأن تكون الشدود الحاصلة فى كل جزء من الحبل بين قوتين متوسطتين متساوية ومتضادة الاتجاه

وفى عدد خيول العربات التى اسلفنا ذكرها امثلة متنوعة تتعلق بالاشكال الكثيرة الاضلاع الحبالية

وذلك لانه ليس الغرض من شرط توازن القوى وتناسبها فى تلك الاشكال مجرد الرغبة اذ من البديهى ان صلابة كل جزء من هذه العدد تكون مناسبة لما يبذل من المجهودات التى يلزم أن الجزء المذكور يتحملها وان الاجزاء المتنوعة من العدد المذكورة تكون مفصلة على وجه بحيث تكون متوازنة مع وجود تأثير التثاقل وقوى الجر والا تغير وضع تلك العدد بالضرورة وصار الجر رديئا

وبتطبيق الهندسة والميكانيكا على تناسب عدد خيول العربات وتفصيلها لاسيما فى الفنون الحربية يتوصل الى جعل ثقل هذه العدد فى النهاية الصغرى وجعل صورتها موافقة لتطبيق قوة الخيول * والانكليز والنمساوية هم اول من عرف ذلك وعاد على خيولهم وعرباتهم النقالة بالمنفعة العظيمة وقد بقى علينا امور كثيرة يحتاج اليها فى هذا الموضوع لاسيما فى عدد خيول العربات المعدة لنقل لوازم الزراعة والتجارة فهو غرض مهم يلزم حث الصنائعية وتحريضهم على الاعتناء به والالتفات اليه

فاذا استعملنا عوضا عن الحبال المعتبرة كالخطوط الهندسية حبالا حجمها معلوم ولها صورة خاصة كالقوايش والسيور ونحو ذلك فانه يلزم أن تكون على السطوح التى تستند هى عليها والا تغيرت عن اصلها وحينئذ تعتبر السيور والقوايش كالسطوح المنفردة المماسة لسطح الجسم الذى هى موضوعة عليه وهذا ايضا مما يطبق على ما اسلفناه فى الدرس العاشر من الهندسة

ثم ان كيفية تعليق الاحمال بالحبال ليسهل حملها على الناس جديرة بالاعتناء بها والالتفات اليها بخصوصها فمن ذلك كيفية سهلة مناسبة وهي ربط قائشين في ظهر جربندية العساكر اودلوى سقائى الافرنج وجعلهما مارين من تحت الابط وفوق الكتف ولا يمكن توازنهما الا اذا كان لهما اتجاه اقصر خط يمكن مده من نقطتى الارتباط ويكون مارا من تحت الابط وفوق الكتف ايضا وهذا هو السبب فى كونهم يجبرون فى الغالب على امساكهما بحبل افقى مار بالصدر وواصل من احدهما الى الآخر وبذلك يسهل تعيين الشد الحاصل للحبل المذكور والزاوية الحادثة منه ومن القائشين فى نقطة وقوعه وهنالك كيفية اخرى تتعلق بالقائش وهي كيفية السقاء حيث يضع القايش على كتفيه وينزله بقدر طول ذراعيه الى ارتفاع يديه الذى ينتهى فيه القايش من كل من طرفيه بحمالة تمسك بأذن الدلو ولاجل منع الدلوين عن القرب من ساقى السقاء بواسطة ثقلهما يفرق بينهما بطارة فيسهل حينئذ تحصيل الشد الحاصل للقائش ويلزم أن يكون متوازنا اولا مع ثقل كل دلو وثانيا مع قوة الحصر الحادثة من الطارة التى ينعدم بها الجهد الحاصل من الدلوين لاجل اقترابهما من بعضهما

وفن ربط انواع الرزم بخيوط الدبارة مبنى على خواص توازن الحبال الممدودة على السطوح ومعرفة ذلك سهلة كمعرفة تطبيق الحبال وربما سر التلامذة من مباشرة اجراء ذلك بانفسهم ومن تحققهم فى عمليات الصناعة من تصور النظريات

ومن الفنون المستظرفة التى تطبيقاتها متنوعة وعملياتها بديعة فن رسم منحنيات على سطح الجسم الانسانى وعلى سطح الملابس تكون اقصر خطوط يمكن رسمها على هذين السطحين وبتحقق هذا الوصف فيها يكون لها ارتباط باسباب التغير والسهولة والانتظام والظرافة

وقد سبق انه يكون للحلزون خاصية هندسية وهي انه يكون اقصر خط يمكن رسمه على اسطوانة بين اى نقطتين من هذا الخط وبناء على ذلك يمكن أن نثنى حبالا حلزونية على سطح اسطوانى ثم نشد هذه الحبال من اطرافها

مع تماس اتجاهاتها بدون أن يتغير شئ من الانحناء الحاصل منها حول الاسطوانة

وقد جرت عملية عظيمة جدا من هذه الخاصية الهندسية فى الآلات التى يلزم فيها انثناء الحبال على السطوح كما فى عملية انثناء الحبل على الآلة المعروفة بالمنجنيق الآتى ذكرها فى الدرس العاشر ومن هذا القبيل اوتار الكمنجة والعود والقانون فهى حادثة من وتر مركزى يثنون حوله على صورة حلزون سلكا معدنيا فيكون شد هذا السلك واحدا فى جميع نقط طوله متى كان بهذه الصورة الحلزونية وبناء على ذلك يكون الاهتزاز الحاصل عند تحرك الآلة واحدا فى جميع اجزاء الوتر وهذا ناشئ عن خواص الانحناء الحلزونى

والشبكات متكونة من الخيوط المرتبطة مثنى بنقط على نسق واحد وهناك شبكات الغرض من صناعتها أن تنطبق على السطوح انطباقا صحيحا كالشبكة التى تغطى بها القباب الطيارة وتنتهى بمحيط المركب التى تنقلها تلك القباب وبمقتضى القواعد المذكورة فى هذا الدرس يسهل حساب الشد الحاصل لكل خيط من الشبكة

وفى زينة النساء غالبا شبكات معدة لتغطية بعض اجزاء من سطح شعورهن وملابسهن كالنسيج الذى يكون فى العصابة وهو المعروف بغطاء الالماس والشبيكات * واصطناع ذلك على صورة الشبكات يجعله ملائما لانثناء الاجسام البشرية وانحنائها اتم الملاءمة

(الدرس السابع)

فى بيان ما بقى من الحبال وفى التحركات المستديرة للحبال والقضبان والعجلات والطيارات وفى مقادير الإينرسى وفى البندولات

لنفرض ان قوة س تكون واقعة عموديا على نقطة ا التى هى احد طرفى حبل اث غير القابل للمد والمجرد عن التثاقل فيكون طرفه الآخر وهو ث مربوطا فى نقطة ثابتة

واذا كانت قوة س المذكورة مؤثرة زمنا ما بدون معارض فانها تسير

نقطة ا المادية الى الامام تسييرا مستقيما وتبعدها كثيرا عن نقطة ث الثابتة غير أن الحبل المستعمل لذلك يمنع النقطة المادية المذكورة أن تكون بعيدة عن نقطة ث اكثر من البعد الاول وهو ثا فاذن يجذب هذا الحبل النقطة المادية لجعلها على بعد ثابت من النقطة المعينة * و بواسطة هذه المقاومة تجذب قوة اس الحبل الذى هو مشدود دائما بسبب تأثير هاتين القوتين فاذن ترسم نقطة ا التى هى طرف هذا الحبل دائرة فيرى فى ذلك ثلاث قوى متباينة احداها قوة س العمودية على نصف قطر ثا والمتجهة على اس الذى هو مماس الدائرة المقطوعة بنقطة ا المادية وهذه القوة هى المعروفة بالقوة المماسة والثانية القوة الجاذبة للحبل جهة المركز وهى المعروفة بالقوة المركزية والثالثة القوة التى تجذبه لتبعد نقطة ا عن المركز وهى المعروفة بالقوة المبعدة عن المركز وهى مساوية للقوة المركزية ومضادة لها ولنذكر النسبة الحاصلة بين القوتين الاخيرتين والقوة الاولى فنقول

لنرسم شكلا متوازى الاضلاع مثل انمد على ضلعى ان و اد المتساويين فيكون قطره وهو ام دالا على ما يلزم بذله من الجهد لاستبدال اتجاه اد باتجاه ان وانتقال الجسم من ا الى ن وهذا الجهد المبين بخط ام هو القوة المركزية

فاذا مددنا نصف قطر ثن كان مثلثا اثن و نام متشابهين لانهما متماثلان وفيهما زاوية مشتركة وهى ا فاذن يحدث هذا التناسب وهو

$$\text{ثن} : \text{ان} :: \text{ان} : \text{ام} = \frac{\text{ان}^2}{\text{ثن}}$$

بمعنى ان ام الدال على كل من القوة المركزية والقوة المبعدة عن المركز يكون مساويا لمربع القوة المماسة مقسوما على نصف القطر

وبمثل هذه البرهنة يعلم اننا اذا اخذنا ان = ن نَ = نَ نَ الخ
واوقعنا على ثَ ن و ثَ نَ و ثَ نً الخ قوة مركزية جديدة
مساوية دائما ام قطع الجسم فى ازمنة متساوية مسافات آن
و ن نَ و نَ نَ الخ فاذن يكون للجسم المذكور سرعة مماسة
ملازمة له ويحصل له فى كل وقت من القوة المركزية دفعة جديدة ثابتة متى قطع
دائرة معلومة وهذا هو المعروف بالتحرك المستدير المنتظم

وفى هذا التحرك تكون السرعة المماسة مساوية للقوس المقطوع مقسوما
على الزمن المعد لقطعه

واذا قسم القوس بنصف القطر حدث من ذلك قياس الزاوية وحينئذ تكون
الزاوية المقابلة للقوس المقطوع مساوية للسرعة المماسة مقسومة على
نصف قطر هذا القوس ومضروبة فى الزمن المعد لقطعه ويحدث من هذه الزاوية
المقسومة على الزمن قياس ما هو معروف بالسرعة المنزوية للجسم الدائر
حول المركز فاذن تكون اولا السرعة المنزوية مع السرعة المماسة
على نسبة منعكسة من نصف القطر وثانيا تكون كلتا السرعتين المماسة
والمنزوية مناسبتين لنصف القطر

فتى تغايرت انصاف الاقطار كان الزمن المعد لقطع الدائرة بتمامها على نسبة
منعكسة من السرعة المنزوية فيكون الزمن المعد لقطع الدائرة بتمامها مناسبا
لنصف القطر مقسوما على السرعة المماسة

وهذه النتائج موضحة فى كثير من مسائل الميكانيكا المهمة فى الصناعة

ولا تغفل انه اذا كان الجسم الدائر حول المركز مربوطا بخيط او حبل او قضيب
كانت القوة المركزية هى الشد الواقع على الخيط او الحبل او القضيب من جهة
المركز وكانت القوة المبعدة عن المركز هى الشد المقابل للمتقدم والواقع
على الخيط لبعده عن المركز

وراكب الفرس الذى يدور بها فى الميدان يكون فى مركز الدائرة و يكون

قابضا بيده على طرف عنان الفرس فتكون القوة المماسة هنا هي قوة الفرس الذي يميل دائما الى الانفلات من المماس غير أن الراكب المذكور يشد العنان بقوة مركزية مساوية للقوة التي يشد بها الفرس عنانه بمعنى انها تكون مساوية للقوة المبعدة عن المركز المنسوبة للفرس ومتى كانت سرعة الفرس مضاعفة مثنى كانت القوة المركزية مضاعفة رباع واذا كانت السرعة مضاعفة ثلاث كانت القوة المذكورة مضاعفة تسع مرات وهكذا وماذكرناه في هذا المعنى مع ما يتعلق به من النسب يلايم تحرك المقلاع الذي سنذكره قريبا

ثم ان الفرس الذي يدور في دائرة بدون مانع يمنعه من الدوران لا يمكنه الاستقامة و الاعتدال فيها لان القوة المبعدة عن المركز التي تقوى دائما اجزاء جسمه تدفعه دفعا افقيا الى خارج تلك الدائرة بل تكاد توقعه فلاجل مقاومة تاثيرها يميل الفرس باعلى جسمه الى جهة مركز الدائرة التي يقطعها و يلزم أن يكون هذا الميل متزايدا بقدر مربع سرعته ويعظم ميله متى اسرع في العدو والجري * ولاجل أن يمكنه السير بدون صعوبة عند ميله الى جهة مركز الدائرة يميل به الراكب دفعة واحدة الى الطريق المستدير الذي يلزم قطعه (شكل ٢)

واذا كان الفارس قائما على فرسه مع الاعتدال والاستقامة فانه يجبر على الميل باعلى جسمه الى جهة مركز الميدان لئلا يسقط بتأثير القوة المبعدة عن المركز ويدل شكل ٢ على مابين قوة التثاقل والقوة المبعدة عن المركز من التركيب ليحصل التوازن بين الفرس وراكبه

واذا سارت العربة ورسمت في سيرها قوس دائرة اوسارت سيرا مستديرا لحقها تأثير القوة المبعدة عن المركز التي تكاد تقلبها فاذا دارت في طريق ل المنحدر الى جهة مركز الدوران وهو و حدث في هذا الوضع عن القوة المبعدة عن المركز وقوة التثاقل ما يحدث عن الفرس (شكل ٢) عند دورانه في طريقي اب و ده حول محور و وَ

ومتى كان طريق م افقيا فلا شئ ينقص ميل القوة المبعدة عن المركز حتى تنقلب العربة

فاذا كان طريق ن منحدرا بعيدا عن مركز الدوران فان هذا الانحدار ينضم تأثيره الغير الموافق الى تاثير القوة المبعدة عن المركز فينشأ عن ذلك خطر عظيم فى الانقلاب

وفى طرق فرانسا ضرر عظيم وذلك انها محدّبة من منتصفها بحيث يظهر منها انحداران عظيمان جدّا فى جهتين متقابلتين فاذا تقابل عربتان فى بعض الانعطافات فان العربة المتوجهة الى الانحدار الذى يكون نحو مركز الدوران تكون متقوية بهذا الانحدار واما المتوجهة الى الانحدار الخارج فانها لا تكون متقوية بهذا الانحدار بل ربما كانت عرضة للانقلاب

ومما ينبغى نظمه فى سلك القواعد المطردة التى يجب العمل بها هو انه فى جميع الانعطافات لا يلزم عمل انحدار خارج مطلقا وانما يلزم عمل انحدار الى جهة مركز الدوران بقدر الامكان

فاذا كانت القوة المبعدة عن المركز على نسبة منعكسة من قطر القوس المقطوع فانه ينتج من ذلك انها تكون صغيرة متى كان القطر كبيرا وتكون متزايدة متى كان القطر متناقصا واذا كان فى الانعطافات القصيرة جدّا ماليس لقوسه الاقطر صغير جدّا كانت القوة المبعدة عن المركز كبيرة وبذلك يكون الانقلاب شديد الخطر

وقصارى الامر أن هذا الخطر يتزايد بقدر مربع سرعة العربات

وهذا هو الحامل لمهرة العربجية والخيالة على كونهم لا يسوقون خيولهم سوقا حثيثا فى الانعطافات القصيرة بل يمشون على مهل متى ارادوا الدوران

ولننبه هنا على ان الميكانيكا يعرف بها مع الضبط والسهولة جميع تأثيرات التحرك المستدير فى الصور المهمة المتعلقة بالامن و الاطمئنان فى النقل والاسفار ويعرف بها ايضا قواعد عمل العربات التى تصنع بموجب قوانين التحرك

فاذا

فاذا كانت العجلة (شكل ٣) سريعة الحركة فى الرمل او الطين فانها ترفع معها شيأ من ذلك تكون سرعته المماسة عين سرعتها وحيث ان ما ترفعه لا يثبت على القضبان ولا على تصاليب العجلة بقوة تساوى القوة المبعدة عن المركز لزم أن يقع عليه تأثير هذه القوة وأن يكون مدفوعا بالسرعة التى اكتسبها ويوضع امام عجلات العربات المزينة لوح معد فى عريض مستدير مثل $\overline{س ص}$ يعرف بالمانع لانه يمنع جميع قطع الطين الصغيرة المدفوعة بتأثير القوة المماسة

واذا لم تكن تصاليب العجلات متلاصقة بمسامير غائصة الى انصافها فى اطراف تلك التصاليب المتماسة وبقضبان من الحديد سائرة لهذه التصاليب فان القوة المبعدة عن المركز تكاد دائما أن تبعد التصاليب المذكورة عن المركز وتخلعها من المسامير الرفيعة وتحذفها كالرمل والطين اذا عظمت سرعة العجلات ومتى كانت المسامير المثبتة للقضبان على التصاليب داخلة قليلا فى الخشب فان القوة المبعدة عن المركز تخلعها وتحذفها فى اتجاه المسامير الرفيعة الممتدة وبالجملة فحجم مجموع التصاليب والقضبان والمسامير المثبتة لها على التصاليب له قواعد تعلم من نسب القوة المماسة والقوة المبعدة عن المركز وكذلك كثير من العجلات المستعملة فى الآلات كما سيأتى

واذا ضرب الصانع بالبلطة او المطرقة ضربا قويا فان حركة الآلة فى حالة الضرب تكون على شكل قوس دائرة بخلاف ما اذا كان الضرب ضعيفا فانها تحيد عن مماس القوس الذى تقطعه فلذا كان الدوران مستديرا وكان ضرب الدبوس والبلطة والبالة ونحو ذلك بهذه الكيفية ومن هذا القبيل ايضا المقلاع

وذلك ان المقلاع كان قبل اختراع اسلحة النار من الآلات الرمى المهمة ثم صار الآن لعبة فى ايدى الصبيان وكيفية الرمى به أن يؤتى بحبل خفيف كحبل $\overline{ا ث ب}$ (شكل ٤) يكون فى منتصفه كفة ككفة $\overline{ث}$ يوضع فيها حجر ثم يضم طرفاه وهما $\overline{ا}$ و $\overline{ب}$ الى بعضهما ويقبض الانسان عليهما

بيد واحدة ثم يحركه تحرك دوران فاذا استعمل فى تحريكه قوة ثابتة فان المقلاع يدور بسرعة ثابتة و يكون حبله مشدودا دائما فيحدث عنه فى اليد جهد يدل على القوة المركزية اللازمة لامساك حجر ث دائما على بعد واحد من مركز ا ومتى ارخى احد طرفى الحبل فان هذه القوة المركزية لاتضاد القوة المبعدة عن المركز وكذلك الحجر لايتحرك تحركا مستديرا بل تدفعه القوة المماسة بدون مانع فيقطع فى سيره خطا مستقيما اذا حذف رأسيا

وقد قطعنا النظر فى جميع ماذكرناه عن تأثير التثاقل على جسم كجسم ا لانه اذا لم تقطع النظر عن هذا التأثير كان حل المسئلة صعبا جدا

واذا اقتضى الحال ان الجسم يدور فى دائرة مجوفة فانه يتحرك على محيط هذه الدائرة بالقوة الثابتة التى تصير بهذا التحرك قوة مماسة وبها تتعين سرعة سيره وهذه القوة المماسة الدافعة للجسم حتى يخرج عن المماس تعرض لها دائما مقاومة على محيط الدائرة المجوفة وهذه المقاومة العمودية على المحيط المتجهة بذلك الى جهة المركز هى القوة المركزية المساوية والمضادة مباشرة للقوة المبعدة عن المركز

وقد يستعمل فى فن الطوبجية براميل دائرة على محورها ومحتوية على الرصاص المراد صقله فيلزم أن تكون صلابة هذه البراميل مناسبة اولا لجسم الرصاص المظروف فيها وثانيا لما للرصاص من القوة المبعدة عن المركز المناسبة لمربع القوة المماسة المستعملة لتدوير الرصاص فى البرميل

و ينبغى أن يضاف الى ذلك كثير من الطنابير الدوارة المحتوية على الرصاص المصقول او الاكر الصغيرة المتخذة من النحاس الموضوع فى البارود المراد تحبيبه وانما اقتصرنا على التحرك المستدير للجسم المجبور على أن يتحرك تحركا منحنيا لان الحبل او القضيب او المحيط المجسم يجبر الجسم على اتباع هذا الخط بواسطة تأثير متجه دائما الى جهة مركز التحرك

وهنالك امثلة عظيمة تتعلق بالاجسام المتحركة تحركا منحنيا بدون

أن تكون

أن تكون ممسكة برابط من الروابط المتوسطة او المحيطات الخارجة فمن ذلك القمر فانه يتحرك فى الفراغ حول الارض بدون عائق وكذلك الارض حول الشمس (شكل ٥)

و يوجد فى هذه التحركات من مبدء الامر قوة $\overline{ط}$ المماسة التى تدفع دائما القمر والكواكب السيارة دفعا مستقيما ثم ان الارض بالنسبة للقمر نقطة بورية لقوة $\overline{ث}$ المركزية المؤثرة دائما فى القوة المبعدة عن المركز للقمر وكذلك الشمس بالنسبة للارض فانها نقطة بورية للقوة المركزية المؤثرة دائما فى القوة المبعدة عن المركز للارض

فاذا توازنت القوة المركزية والقوة المماسة وكانتا على نسبة موافقة للتحرك المستدير فان القمر يرسم فى سيره دائرة حول الارض وكذلك الارض ترسم فى سيرها دائرة حول الشمس غير ان هنالك اوضاعا تكون فيها القوة المماسة ضعيفة فيكون القمر حينئذ متباعدا عن الارض والارض متباعدة عن الشمس وعند تباعدهما يكون اتجاههما المبعد عن المركز مائلا بالنسبة للاتجاه المركزى و بناء على ذلك تكون القوة المركزية مضادة للقوة المبعدة عن المركز وتنقصها بحيث يؤول امر القوة الاخيرة وهى المبعدة عن المركز الى كونها تفوق قليلا القوة الاولى وهى المركزية فيقرب الكوكب المتحرك حينئذ من مركز تحركه وهذا هو سبب كون القمر يرسم حول الارض والارض ترسم حول الشمس منحنيا ممتدا وهو قطع ناقص وتكون الارض نقطة بورية للقطع الناقص الذى يتبعه القمر والشمس نقطة بورية للقطع الناقص الذى تتبعه الارض

والقوة المركزية للارض بالنسبة للقمر هى القوة التى تسمى بقوة التثاقل و التجاذب كما سبق وهى القوة التى تهبط بها الكلة المرمية من اسفل الى اعلى وتجبرها على رسم منحن كمنحنى $\overline{اب ث}$ (شكل ٦) اذا رميت رميا مائلا فاذا كانت قوة التثاقل ثابتة ولم يحصل من الهواء مقاومة لتحرك الاجسام المرمية فيه فان الحجرا و الكلة او الطيارة

او نحو ذلك يرسم من اول دفعة تحصل له من القوة الاصلية قطعا مكافئا مثل ا ب ث

ومقاومة الهواء الحقيقية تقص بها المسافة المحاطة بالمنحنى وتسطح بها المسافة الثانية من القطع المكافىء الوهمى ويحدث عنها منحنى ا ه ف

والغرض المهم من تجاريب فن الطوبجية هو انه بحسب مجسمات وحجوم الكلل والحب والرصاص ونحو ذلك وكذلك بحسب القوة التى ترمى بها تلك الاشياء واتجاه الدفعة الاصلية تعين النقط التى يمكن وصول المرمى اليها على ارتفاعات متنوعة وابعاد مختلفة ولانذكر هنا من علم الميكانيكا الأ التطبيقات العظيمة التى تحدث عنها القضايا النظرية التى تخص فن الطوبجية

وقد ثبت الآن عند الافرنج ان الارض غير ساكنة ولاموضوعة كنقطة ثابتة فى مركز العالم بل تدور بسرعة على نفسها بحيث تكمل دورتها فى ظرف اربع وعشرين ساعة وهى مدة الليل والنهار وعليه فبدوران هذه الكرة ينتقل سكانها القاطنون على خط الاستواء من المغرب الى المشرق مع سرعة اكبر من سرعة الماشى مشيا معتادا باربعمائة مرة

فاذن تكون كل نقطة من نقط الارض مدفوعة بقوة مماسة تكاد تنقلها بعيدا عن الكرة المذكورة وبقوة مركزية تكاد تجذبها نحو المركز وهذه القوة المركزية هى المسماة جذب الارض وحيث ان تأثير القوة المماسة واحد تقريبا فى سائر الاجسام الموضوعة بجوار بعضها فان هذه الاجسام المتحركة بتأثير تلك القوة تكون على حالة بحيث تكاد أن تكون ساكنة

وليكن (شكل ٧) مسقط الارض موازيا لخط الاستواء بحيث يكون خط الاستواء والموازيات كلها دوائر ولنقابل بين تحرك نقطتى ه و ا الموضوعتين احداهما على خط الاستواء وهو ه هَ هً والاخرى على موازيا كان كموازى ا اَ اً ونمد نصف قطر و ص ص قريبا جدا من قطر ه و هَ

فاذا

فاذا نزلنا بعمودى مـ صـ و س ص على ەوَ كان نصفا القطر وهما وا و وه مناسبين بداهة لخطى ە س و اسـ الدالين على القوتين المبعدتين عن المركز المنسوبتين لنقطتى ە و ا الماديتين فاذن تكون القوة المبعدة عن المركز الواقعة على كل نقطة مناسبة لبعد المحور عن هذه النقطة وهذا فى حالة تحرك الارض حول محورها

وعلى ذلك تكون القوة المبعدة عن المركز كبيرة مهما امكن فى نقطتى ە و ەَ الموضوعتين على خط الاستواء و بهذه القوة ينعدم جزء من تثاقل الاجسام ثم ان تثاقل الاجسام فى خط الاستواء يكون صغيرا عما اذا كان فى نقطة ما من نقط الارض وسيأتى قريبا كيفية تحقيق ذلك بالتجربة

ولنفرض ان برج ەف يكون مبنيا فى نقطة ە فاذا رسمنا من نقطة و التى هى المركز قوس ف صَ ومددنا صَ سَ عمودا على وف حدث هذا التناسب وهو وه : وف :: ەص : ف صَ وهذه هى نسبة القوى المماسة •

فاذا اوقعنا من ف التى هى رأس البرج جسما ما فان هذا الجسم يصل الى اسفل البرج حين يكون الرأس فى نقطة صَ ويكون مدفوعا بالقوة المماسة التى تجبره على قطع ف ص فاذن يلزم ان هذا الجسم حين يكون اسفل البرج فى نقطة ص لا يقع فى هذه النقطة فقط بل يقع ايضا فى نقطة ز على بعد ەز = ف صَ ولنوضح ذلك بالارقام فنقول

ان نصف قطر الارض فى خط الاستواء يساوى ٦٣٧٦٤٦٦ مترا ولنفرض انه فى احدى المدن التى على خط الاستواء بنى برج ارتفاعه مائة متر والمطلوب معرفة فاضل سرعة النقطتين الماديتين الموضوعتين احداهما

فى اسفل البرج والاخرى فى رأسه فيكون نصف قطر المحيط المقطوع باحدى النقطتين ٦٣٧٦٤٦٦ مترا والمقطوع بالاخرى ٦٣٧٦٥٦٦ مترا والنسبة المنعكسة لهذين العددين هى نسبة السرعة المتكررة ومما يسهل مشاهدته ان النقطة العليا تقطع فى يوم واحد زيادة عن النقطة السفلى مائة متر مضروبة فى النسبة الحاصلة بين المحيط ونصف القطر ويحدث من ذلك ٦٢٨ مترا وكسور فاذا كان هناك جسم ثقيل وخلى لثقله الاصلى فى محل خال عن الهواء فانه يهبط مائة متر فى خمس ثوان بالابتداء من احدى نقط محيط خط الاستواء وذلك يساوى $\frac{١٧٢٨٠}{١٠٠٠٠٠٠}$ جزأ من اليوم فاذا قسم ٦٢٨ مترا على ١٧٢٨٠ تحصل معنا الكمية التى يقرب بها اعلى البرج من جهة المشرق اكثر من قرب اسفله اليها مدة سقوط هذا الجسم وسيأتى ان الجسم الثقيل لا يقع فى اسفل البرج على مستقيم رأسى بل يتحوّل الى شرقيه بعد قدره

$$\frac{٦٢٨^{م}}{١٧٢٨٠} = ٣٦ \text{ مليمترا تقريبا}$$

وحيث ان مقاومة الهواء تبطئ سقوط الاجسام لزم لسقوطها من ١٠٠ متر اكثر من خمس ثوان فعلى ذلك يتحوّل الجسم الثقيل عند سقوطه من اعلى البرج الى جهة شرقى اسفله بعدا اكثر من ٣٦ مليمترا وقد دلت التجربة على ذلك

ومتى دار جسم صلب حول محور احدثت جميع نقطه فى زمن واحد دورة كاملة وكانت سرعتها المتكررة مناسبة للمحيطات وبذلك تكون ايضا مناسبة لانصاف اقطار الدوائر التى تقطعها هذه النقطة

وفى دائرتين مختلفتين يكون مركزهما فى مركز التحرك ويكونان حاملتين مع الانتظام اجزاء مادية تكون كمية هذه الاجزاء مناسبة لنصف القطر فاذن يكون فيهما كمية التحرك (اعنى حاصل ضرب الجسم فى السرعة) مناسبة لنصف القطر مضروبا فى نصف القطر اعنى لمربع نصف القطر

وينتج من ذلك فى الآلات التى يستعملون فيها العجلات المجوّفة المحتوية على قضيبين مستديرين عرضهما واحد كقضيبى اب ث و اث

شكل

(شكل ٨) ان كمية التحرك التي بها يدفع القضيبان المذكوران عندما يتمان دورانهما في زمن واحد تكون مناسبة لمربع نصف قطر العجلات المذكورة فاذا كانت مجسمات العجلات متساوية كان تدوير الكبيرة اصعب من الصغيرة مثلا اذا كان أ ب ث اكبر من أ ب ث ثلاث مرات واثقل منه ايضا ثلاث مرات فحتى اريد تدوير أ ب ث دورة كاملة في الزمن الذي يراد فيه تدوير أ ب ث لزم لذلك ضرب ثلاث مرات في نفسها اى تسع مرات بقدر كمية التحرك فاذا جعلنا أ ب ث اثقل من الاول بثلاث مرات بدون أن يكون كبيرا فانه يكفي أن نضعف هذه الكمية ثلاثا لتبقى السرعة على حالها فتكون الكمية المذكورة اصغر من الكمية التي تدفع أ ب ث لان هذه القوة اكبر منها تسع مرات

وبناء على ذلك اذا كان المطلوب حصر كمية عظيمة من التحرك في مجسم مادي معلوم فالاصوب تقسيم هذه المادة على محيط كبير القطر ومن المهم في كثير من الآلات حصر كمية عظيمة مهما امكن من التحرك في مجسم لا يؤثر بثقله على نقط الارتكاز كثيرا فبهذه الواسطة اذا عرض خلل او حدث عارض من عدم تساوي التحركات ونشأ عنه اسراع او بطئ مضر فان العجلة المدفوعة بتحرك دوران ثابت تكتسب او ينعدم منها كمية من التحرك كبيرة بالكفاية من غير أن تتغير سرعتها كثيرا والذي اقوله ان العجلة المذكورة تكون بمنزلة المحافظ او المنظم الذي يؤثر غالبا تأثيرات نافعة ويطلق على محافظ القوى اسم الطيارات

وعوضا عن أن نجعل المحافظ على صورة قضيب متواصل مثل أ ب ث (شكل ٨) نحصر غالبا المادة المطلوب توزيعها على قضيب أ ب ث في ثلاث نقط او اربعة متساوية البعد عن بعضها كنقط أ و ب و ث (شكل ٩) او أ و ب و ث و د (شكل ١٠) وحينئذ يكون لهذه المادة التي على بعد متوسط من مركز الدوران كمية واحدة من التحرك بالنسبة لسرعتها الثابتة

ولنبرهن على ان نقطة و التى هى مركز دوران الطيارات تكون مركز ثقلها ايضا فنقول ان العجلة بدون ذلك تكون دائما مجذوبة من جهة اكثر من الاخرى فلا يكون تحركها منتظما ولا متسقا فلا بد لحصول النفع من تحقق هذا الشرط وهو أن نأخذ مركز الطيارة و نجعله مركز تماثل الاثقال التى تتخذ منها تلك الطيارة فهذه هى القاعدة التى جرى بها العمل فى (شكل ٩) و (شكل ١٠)

واما الدعوى النظرية التى سنذكرها فلا بد منها لصناع السفن والساعاتية وصناع الآلات غير أنه فى كثير من المدن يعجز العملة عن اتباعها فيجوز للمعلم أن يضرب عنها صفحا

وهذه الدعوى هى التى يبرهن بها فى الاجسام الصلبة التى تدور حول المحور كما تقدم فى الكرة الارضية على ان القوة المبعدة عن المركز تكون مناسبة لبعد المحور عن كل نقطة مادية

ولذلك نفرض ان مستوى شكل ١٢ يكون عموديا على هذا المحور المبين بنقطة غ ولتكن النقط المادية المتساوية فى الجسم وهى م و مَ الخ وم و مً الخ هى التى يتركب منها جسم ا ب ث د فتكون ابعاد غم وغمَ الخ وغم وغمً الخ مناسبة للقوى المبعدة عن المركز وربما كانت دالة عليها

ولنفرض أن مركز الثقل يكون على محور غ وتمد اعمدة مه و مهَ الخ و من و منَ الخ على مستقيم كمستقيم س غ ص المجعول محورا لمقادير اثقال م و مَ الخ و م و مً الخ فيحصل

اولا م × غه + مَ × غهَ ... = م × غن + مَ × غنَ الخ

وثانيا م × مه + مَ × مهَ ... = م × من + مَ × منَ الخ

اعنى انه يكون لقوى غم وغمَ وغم وغمً الخ

المبعدة عن المركز المقسومة قسما عموديا على مستقيم س غ ص وقسما موازيا له محصلة معدومة على اى اتجاه تقسم عليه هذه القوى بالتوازى لمستوى الشكل وحينئذ لا تكون محصلة القوى المذكورة الموازية لهذا المستوى جاذبة للمحور المار بمركز ثقل الجسم الى جهة اكثر من الاخرى

ولنفرض الآن ان مركز الدوران وهو غ يكون فى بعد غ غ من مركز ثقل غ على محور سـ غ صـ الموازى لمحور س غ ص فتكون محصلة قوى غم وغمَ الخ وغم وغمَ الخ الجديدة المبعدة عن المركز المقسومة بالتوازى الى غ غ هى

م × مل + مَ × مَلَ + ... — م × مل — مَ × مَلَ الخ

ولا تتغير هذه المحصلة اذا طرحنا منها مقدار م × مة + مَ × مَةَ + ...

وكذلك لا تتغير اذا زدنا عليها مقدار م × من + مَ × مَنَ + ...

المساوى له غير انه ينبغى التنبيه على ان مل — مة = مَلَ — مَةَ

..... = من — مل = مَنَ — مَلَ ....

فاذن يكون ما تحصل من الجمع والطرح المفروضين هو مجموع مجسمات

م + م .... + م + مَ .... مضروبا فى غ غ.

فعلى ذلك اذا دار جسم حول محور سـ غ صـ الذى لا يمر اصلا بمركز ثقله وهو غ فان محصلة القوى المبعدة عن المركز تتزايد بالمناسبة لبعد المحور عن المركز وتكون باقية على حالة واحدة اذا فرضنا ان سائر اجزاء الجسم تكون كثيفة فى مركز غ

ثم ان تأثير القوة المبعدة عن المركز يكاد ينقل المحور عن موضعه ويجذبه دائما

الى جهة مركز الثقل وهذا ضرر ينبغى اجتنابه فى اغلب آلات الدوران لاسيما
فى الآلات التى تستعمل فيها الطيارات ومن هنا القاعدة المطردة وهى انه يلزم
أن يكون مركز ثقل الطيارة موجودا على محور الدوران
ولنعتبر ان تأثير القوى المبعدة عن المركز يقوم بالتوازى للمحور ولنفرض
(شكل ١٢) ان مستوى الشكل يكون مستويا للمحور
ونرمز الى هذا المحور بخط س غ ص مع جعل نقطة غ مركز ثقل
الجسم ثم نقطع الجسم بمستويات عديدة مثل م ة و مَ ةَ و مً ةً الخ
عمودية على المحور وليكن على مستوى الشكل نقط مَ و مً و مٌ الخ
دالة على مساقط مراكز ثقل النقط المادية المحصورة فى كل مستو فتكون محصلة
سائر القوى المبعدة عن المركز مبينة بمحصلة قوى م × م ة و مَ × مَ ةَ
و مً × مً ةً الخ ثم انه يلزم لاجل تعيين محصلة هذه القوى تحصيل ح
التى هى محصلة القوى الموضوعة فى احدى جهتى المحور وتحصيل خ
التى هى محصلة القوى الموضوعة فى الجهة الاخرى منه فاذا كانت قوتا
ح و خ موجودتين على عمود واحد على المحور وكان هذا المحور مارا
بمركز ثقل الجسم فان هاتين القوتين يكونان بالضرورة متوازنتين وبناء على ذلك
لا يمكن أن يتحرك المحور فى جهة ما بتأثير القوى المبعدة عن المركز لكن
كما فى شكل ١٢ اذا كان عمودا ح حً و خ غ الممتدان على محور
س غ ص لا ينتسبان لمستقيم واحد فان المحور يكون مجبورا على الدوران
بتأثير قوتى ح و خ المضروبتين على التناظر فى بعدى غ ح و غ خ
و يحصل مقدارا م ح و م خ بالنسبة لمركز ثقل غ بضرب قوة م
× م ة فى غ ة وقوة مَ × مَ ةَ فى غ ةَ وقوة مً × مً ةً
فى غ ةً وهلم جرا ثم ينظر هل مجموع مقادير القوى المؤثرة فى جهة

مساو لمجموع مقادير القوى المؤثرة فى الجهة المقابلة لها ام لا

وقد يبرهن بطرق حسابية لا حاجة الى ذكرها هنا على ان مساواة المقادير الاعتيادية شرط لابد منه فى جعل مقدار اينرسى الجسم المأخوذ بالنسبة لمحور

س ع ص نهاية كبرى او صغرى

واذا اريد أن محور الطيارات وسائر المحاور المستعملة فى آلات الدوران لا يقع عليها من تأثير القوى المبعدة عن المركز ضغط فى اى جهة كانت لزم تنظيمها بحيث

تكون قوتا ح و خ موضوعتين دائما على مستقيم واحد عمود على المحور فى الزمن الذى يكون فيه هذا المحور مارا بمركز الثقل .

وما يكون للمحاور المستوفية لهذا الشرط من عظيم النفع فى تحرك الآلات يؤيد تسميتها بالمحاور الاصلية .

وبعد تعيين الانجاه الكثير الفائدة الملايم لمحور الطيارات يلزم معرفة السرعة التى تكون للطيارات عندما يستعمل فى تحركها قوة معينة ويكون حجمها وجسمها معينين ايضا

ولاجل مزيد السهولة نفرض أن محور الدوران عمود على مستوى شكل ١١ وليكن مبينا بنقطة و فيدور الجسم حول هذا المحور بواسطة قوة

ف ف على بعد و ف الذى هو بعد المحور المذكور ولنفرض ف ف فى مستوى الشكل المتقدم .

فيكون الجهد او مقدار ف ف المعد لتدوير المحور مبينا بكمية

ف ف × و ف

وتكون السرعة المزوية وهى م التى يأخذها الجسم هى القوس المقطوع مدة وحدة الزمن على الدائرة التى يكون نصف قطرها مأخوذا وحدة لها فتقطع م التى هى النقطة المادية من الجسم فى مدة وحدة الزمن قوس م ى

$= \overline{ا} \times \overline{و م}$

فتكون $\overline{م}$ التى هى كمية التحرك حينئذ هى $\overline{م} \times \overline{ا} \times \overline{و م}$ وتكون

الكمية الكلية لتحرك نقط الجسم وهى $\overline{م}$ و $\overline{مَ}$ و $\overline{مً}$ الخ

$$\overline{ا} \times \left\{ \overline{م} \times \overline{و م} + \overline{مَ} \times \overline{و مَ} + \overline{مً} \times \overline{و مً} + \cdots \right\}$$

ولاجل قياس التأثير الحاصل من كل عنصر بواسطة كمية التحرك المذكورة

لاجل تدوير المحور يلزم تحويل سائر نقط $\overline{م}$ و $\overline{مَ}$ الخ الى مستقيم $\overline{ف و}$ من احدى جهتى المحور بدون أن يتغير بعدها عن هذا المحور وعلى ذلك فسائر القوى المماسة التى تدفع $\overline{م}$ و $\overline{مَ}$ و $\overline{مً}$ الخ وهى القوى المدلول عليها بكميات التحرك المتحصلة معنا سابقا تكون متوازية ومتجهة الى جهة واحدة وتكون محصلتها وهى $\overline{ر ر}$ بموجب قاعدة مقادير القوى معلومة من ضرب كل قوة فى بعدها عن المحور فاذن يكون

$$\overline{ر ر} \times \overline{و ر} = \overline{ا} \left\{ \overline{م} \times \overline{و م} \times \overline{و م} + \overline{مَ} \times \overline{و مَ} \times \overline{و مَ} + \overline{مً} \times \overline{و مً} \times \overline{و مً} \text{ الخ} \right\}$$

او يكون على سبيل الاختصار

$$\overline{ر ر} \times \overline{و ر} = \overline{ا} \left\{ \overline{م} \times \overline{و م}^{2} + \overline{مَ} \times \overline{و مَ}^{2} + \overline{مً} \times \overline{و مً}^{2} + \cdots \right\}$$

وتكون قوة $\overline{ر ر} = \overline{ف}$ باقية على حالتها وكلما تزايد مجموع $\overline{م} \times \overline{و م}^{2}$ $+ \overline{مَ} \times \overline{و مَ}^{2} + \cdots$ تناقصت سرعة $\overline{ا}$ المنزوية وبالعكس اى كلما تناقص هذا المجموع تزايدت سرعة $\overline{ا}$ المنزوية وبناء على ذلك يكون المجموع المذكور دالا على مقاومة الجسم للتحرك الدورانى بواسطة الاينرسى متى اثرت فى هذا الجسم قوة معلومة ومن ثم قيل لهذا المجموع مقدار الاينرسى فاذن يكون مقدار الاينرسى لنقطة مادية هو مجسمها وهو $\overline{م}$ مضروبا فى مربع بعدها عن محور الدوران ويكون

مقدار

مقدار الاينرسى لجسم مّا مساويا لمجموع مقادير اينرسى كل جزء من
اجزائه الصغيرة جدّا وبالجملة فالسرعة المنزوية التى يأخذها الجسم بواسطة
قوّة مّا حول محوره تساوى المقدار البسيط لهذه القوّة مقسوما على
مقدار اينرسى الجسم وهذه هى السرعة التى قوّمناها

ولمقادير الاينرسى خواص مهمة جدّا فى علم الميكانيكا لا يمكن ذكرها هنا
لان ذلك يستدعى معارف عالية ولنفرض فقط نقطتين ماديّتين كنقطتى
م و مَ (شكل ١٢) يكون مركز ثقلهما فى نقطة غ ونديرهما
حول محور غ س ص العمودى على م غ مَ فيكون مجموع
مقدارى اينرسى م و مَ هو

م × غم^2 + غمَ^{2} × مَ ولمكن الآن محور سَ غَ صَ
موازيا لمحور س غ ص فيكون مقدار الاينرسى بالنسبة لهذا المحور
الجديد هو

م × غَم^2 + مَ × غَمَ^{2} فيكون فاضل هذين المقدارين هو

م × غغَ^{2} + مَ × غغَ^{2} اعنى مربع غغَ الذى هو بعد المحور
عن مركز الثقل مضروبا فى مجموع مجسمى م و مَ
وليست هذه الخاصية مقصورة على نقطتين ماديّتين بل تجرى ايضا فى كثير
من النقط التى يتركب منها الجسم الذى يمكن أن يكون له صورة ومجسم
حيثما اتفق وعلى ذلك فمقدار الاينرسى فى اتجاه س غ ص المفروض
لمحور الدوران يكون صغيرا مهما امكن متى كان هذا المحور مارّا بنقطة غ
التى هى مركز ثقل الجسم فاذا لم يكن مارّا بمركز الثقل المذكور فان مقدار

الاينرسى يزداد بكمية مساوية لجسم الجسم مضروبا فى مربع بعد المحور عن مركز ثقل الجسم ولنجعل $\overline{م}\ \overline{ك}^{٢}$ مقدار اينرسى الجسم الذى مجسمه $\overline{م}$ عندما يكون المحور مارا بمركز الثقل فيكون $\overline{ك}$ دالا على طول معلوم فاذا رمز بحرف $\overline{د}$ الى بعد مركز الثقل عن اى محور دوران كان مقدار الاينرسى بالنسبة لهذا المحور $\overline{م} \times (\overline{د}^{٢} + \overline{ك}^{٢})$ وهو مقدار يسهل حسابه بمجرد معرفة مقدار الاينرسى المعين بالنسبة لمستقيم مواز للمحور وممتد من مركز الثقل

ويكون بالبداهة مقدار اينرسى سائر المحاور الموازية لاتجاه معلوم والموجودة كلها على بعد واحد من مركز الثقل كبعد $\overline{د}$ هو

$$\overline{م}\ (\overline{د}^{٢} + \overline{ك}^{٢})$$

ويمكن أن نقابل بين مقادير اينرسى الجسم المأخوذة بالنسبة لمحاور متنوعة مارة بمركز الثقل فنقول يوجد فى هذه المحاور محور مقدار اينرسيه أصغر من مقادير اينرسى ما عداه من المحاور ولا مانع من تسميته بمحور الاينرسى الصغير وهنالك محور ثان عمودى على هذا المحور مار بمركز الثقل مقدار اينرسيه كبير مهما امكن ولا مانع من تسميته بمحور الاينرسى الكبير وثم ايضا محور ثالث عمودى على الاثنين السابقين لا مانع من تسميته بالمحور المتوسط تكون له هذه الخاصية وهى ان مقدار اينرسيه يكون فى جهة كبيرا مهما امكن وفى الاخرى صغيرا مهما امكن وهذا بالنسبة للمحورين الممتدين اولا فى المستوى الحاصل بين هذا المحور الثالث ومحور الاينرسى الصغير وثانيا فى المستوى الحاصل بين المحور الثالث ومحور الاينرسى الكبير وهذه المحاور الثلاثة الشهيرة هى المعروفة بالمحاور الاصلية للاجسام وهى التى لوحظ من اجلها فيما سبق انه فى اى جهة تكون موازية لمحور الجسم او عمودية عليه لا تكون القوى المبعدة عن المركز مؤثرة تأثيرا يتغير به وضع المحاور المذكورة

وينتج من ذلك ان الجسم المتحرك دفعة واحدة حول احد محوري دورانه الاصليين يكون ملازما دائما للتحرك حول هذا المحور اذ ليس هناك قوة مبعدة عن المركز تؤثر في جهة ما حتى ينحرف وضع الجسم بالنسبة للمحور المذكور ويؤخذ من ذلك في آلات الدوران التي يلزم أن يكون محورها ثابتا ان احد محاور الاينرسي الاصلية يكون محور دوران للاجزاء الدائرة فاذا كان الجسم الذي كثافته واحدة في سائر اجزائه منتهيا بسطح دوران وكان هذا الجسم متماثلا بالنسبة لمحور السطح المذكور ظهر لك بالسهولة عند تدوير الجسم حول هذا المحور ان القوى المبعدة عن المركز لا يحصل منها تأثير بغير وضع محور الدوران وحينئذ يكون هذا المحور من محاور الجسم الاصلية

وسيأتي عند ذكر آلات الدوران التي هي البكر والمنجنيق والمعطاف ونحوها انه يلزم أن يكون للاجزاء المتحركة صورة سطح دوران يكون محوره محور الدوران اجتنابا لما لا فائدة له من تأثير القوى المبعدة عن المركز

ثم ان نقط جميع الاجسام التي لها محور تماثل تكون موضوعة مثنى في بعد واحد من المحور على العمود النازل عليه فاذا ادير الجسم حول محور تماثله فان كل نقطتين موضوعتين بهذه المثابة يكونان مدفوعتين بقوتين مبعدتين عن المركز متساويتين ومتضادتين فاذن تكون هذه القوى معدمة لبعضها مثنى ولا يحدث عنها تأثير ما على المحور وبناء على ذلك كلما دار جسم حول محور تماثله لزم أن يستمر على تحركه حول هذا المحور اذا خلى ونفسه

وهذا هو تأثير تحرك الدوامة وما شاكلها مما يدور حول محور تماثله الموضوع وضعا رأسيا وتستمر الدوامة على التحرك مع الانتظام بعد أن تدفع دفعة اولية بواسطة حبل او نحوه او بادارة اسفلها بالابهام والسبابة ثم تخلى ونفسها

وقد نبهنا سابقا على أن النحفات تكون متماثلة بالنسبة للمحور الرأسي المار بنقط تعليقها وبهذا يمكن دورانها بلا معارض حول هذا المحور بدون

أن تميل الى جهة اكثر من اخرى وهذا التأثير يمكن مشاهدته فى النجفات لاسيما اذا كانت معلقة فى قباب مرتفعة

وفى آلات الدوران وهى الخيول او الكراسى المصنوعة من الخشب تكون تلك الخيول او الكراسى المعدة لركوب الاشخاص الذين يلعبون لعبة الخاتم موضوعة بالتماثل حول محور الدوران الرأسى وبناء على ذلك اذا حركت هذه الالات فانها تستمر على تحركها بدون أن يحصل من اينرسيها جهد من كلتا جهتى المحور

وقد تنقل قوة $\overline{م ى}$ مع سرعة $\overline{ى}$ جسم $\overline{م}$ المفروض انه لامعارض له نقلا مستقيما فاذا اوقعنا قوة $\overline{م ى}$ المذكورة على جسم $\overline{م}$ المفروض انه ثابت بالمحور وكانت $\overline{ل}$ هى بعد القوة عن هذا المحور يلزم أن $\overline{م ى ل}$ وهو مقدار القوة بالنسبة للمحور يكون مساويا $\overline{ا م}\ (\overline{د}^٢ + \overline{ك}^٢) = \overline{ا}$ مضروبا فى مقدار اينرسى الجسم بالنسبة للمحور

واذا فرضنا ان الجسم موضوع على وجه بحيث يدور حول محوره بدون أن يقع عليه ضغط فى جهة ما فان هذا الجسم يتحرك كما لو كان لامعارض له ويكون لمركز ثقله سرعة تساوى $\overline{ى}$ وهى مبينة بخط $\overline{د ا}$ فاذن يكون

$$\overline{ى} = \overline{د ا} \quad و \quad \overline{م ى ل} = \overline{م د ا ل} = \overline{ا م}\ (\overline{د}^٢ + \overline{ك}^٢)$$

وينتج من ذلك آن

$$\overline{د ل} = \overline{د}^٢ + \overline{ك}^٢ \quad \cdots\cdots \quad \overline{ل} = \overline{د} + \frac{\overline{ك}^٢}{\overline{د}}$$

ويطلق مركز الدوران على نقطة من نقط امتداد اقصر بعد من المحور عن مركز الثقل فى $\frac{\overline{ك}^٢}{\overline{د}}$ تكون على بعد $\overline{د} + \frac{\overline{ك}^٢}{\overline{د}}$ من مركز الثقل عن المحور ومتى اثرت قوة فى هذه النقطة تأثيرا عموديا على هذا المستقيم اى المحور فانها تدير الجسم بدون أن تدفع المحور الى جهة ما

فاذن

باذن تكون القوّة المساوية والمقابلة لها معدمة لقوّة الدوران الحادثة عن القوّة الاولى بدون أن يحصل منها ادنى ضغط على المحور وهذه هى خاصية مركز الدوران وليكن $\frac{\overline{\text{كا}}^{2}}{\text{د}} = \overline{\text{م}}$ فينتج أن $\overline{\text{د}} = \frac{\overline{\text{كا}}^{2}}{\text{ء}}$ و $\overline{\text{ل}} = \overline{\text{ء}} + \frac{\overline{\text{كا}}^{2}}{\text{ء}}$

ويعلم من ذلك انه يمكن نقل المحور بالتوازى لنفسه حتى يمرّ بمركز الدوران وحينئذ ينقل مركز الدوران الى الطرف الآخر من $\overline{\text{ل}}$ على المحور القديم وفى هذا النقل المنعكس فائدة جليلة

(بيان البندول)

اذا ربطنا فى طرف خيط رقيق خفيف جدّا جسما ثقيلا لكنه صغير الحجم ككلة من حديد اورصاص او پلاتين (وهو الذهب الابيض) وربطنا طرفه الآخر فى نقطة ثابتة كان للكلة فى حالة السكون وضع يكون فيه الخيط رأسيا ويكون مركز ثقلها فى الاتجاه الرأسى للخيط المذكور وهذا هو البندول المعروف ايضا بالشاقول (راجع الدرس الرابع من هذا الجزء شكل ١٨ مكرّر) ثم ان اهمية الشاقول المتحرك والشاقول الساكن واحدة فى الاستعمال فاذا ابعدنا الشاقول عن الخط الرأسى كان ثابتا فى نقطة $\overline{\text{ث}}$ وممتدّا ومما ينبغى التنبيه عليه انه اذا خلى الجسم ونفسه وقطع النظر عن المقاومات المتنوعة ياخذ ثقل $\overline{\text{ا}}$ (شكل ١٣) فى الهبوط بسرعة غير محسوسة تتزايد شيأ فشيأ عندما يقرب هذا الثقل لمارّ بنقط $\overline{\text{اَ}}$ و $\overline{\text{اً}}$ و $\overline{\text{اً}}$ الخ من خط $\overline{\text{ث و}}$ الراسى فاذا وصل الى هذا الخط استمرّ على سيره وارتفع من $\overline{\text{اً}}$ و $\overline{\text{اً}}$ و $\overline{\text{اَ}}$ الى $\overline{\text{ا}}$ اعنى يكون فى ارتفاع نقطة $\overline{\text{ا}}$ ومتى وصل الى هذا الحدّ اخذ فى الهبوط ثانيا من $\overline{\text{اَ اً اً}}$ الخ كما هبط من $\overline{\text{ا}}$ ثم يرتفع ثانيا الى $\overline{\text{اً اً اَ ا}}$ كما ارتفع الى $\overline{\text{اً اً اَ ا}}$ ثم يقف فى نقطة $\overline{\text{ا}}$ ليهبط كالمرّة الاولى وهكذا بالتوالى الى مالانهاية

ويمكن بقواعد الميكانيكا اثبات قوانين التحرك المتردد المعروف بتحرك الارتجاج

ويطلق اسم البندول على الشاقول اذا استعمل لاحداث رجات بدلا عن استعماله للدلالة على الخط الرأسى

وفى كل لحظة من هبوط البندول بالابتداء من ا الى و يحدث من جذب الارض دفعة جديدة لهذا البندول ليقرب من مركز الارض وباتحاد هذا الجذب مع القوة المماسة المكتسبة تحدث عجلة شديدة لا حد لها بدون تأثير خيط اث الذى يحدث منه تأثير قوة مركزية

ولنرمز بخط اغ (شكل ١٤) الى تأثير التثاقل وبمستقيم اس الى القوة المماسة المكتسبة من الشاقول عند وصوله الى ا وليكن اح رمزا الى القوة المركزية فيحصل معنا اولا ان اح = اس٢ / اث وثانيا ان قوتى اغ و اح يتحدان مع قوة ا المماسة بأن نسقط اغ على اغَ من مماس الدائرة فى نقطة ا ثم نضيف هذا المسقط وهو اغَ الى اس اذا كان البندول هابطا اونطرحه منه اذا كان صاعدا ثانيا وحينئذ تحدث معنا القوة المماسة عقب الزمن للذى يكون فيه البندول معدًا لقطع قوس يساوى اس

وهذا يؤدى الى اننا عند صعود البندول فى ازمنة واحدة نطرح الكميات التى اضفناها الى القوة المبعدة عن المركز وحينئذ تكون هذه القوة عند الهبوط والصعود واحدة فى النقط التى على بعد واحد من النقطة المنخفضة عنها وينبنى على ذلك أن هذه القوة اذا انعدمت من جهة انعدمت من الجهة الاخرى فى ارتفاع واحد

وعلى ذلك فالنظريات تثبت مادلت عليه التجربة من تساوى صعود البندول وهبوطه وتماثلهما

وهنا خاصية اخرى عظيمة جدا تتعلق بالبندول وهى ان المدة الكلية للرجتين الصغيرتين تكون واحدة تقريبا وان كان القوس المقطوع فى احدى

هاتين

هاتين الرجتين ضعف القوس المقطوع في الرجة الاخرى مثنى اوثلاث اورباع وهكذا مهما كانت نسبة القوسين المقطوعين

ولاجل البرهنة على هذه الخاصية نفرض بندولين كبندولى ثا و ثا متساويين (شكل ١٥) و (شكل ١٦) مختلفى البعد من المستقيم الرأسى فى مبدء الرجة وليكن تأثير التثاقل المبين فى هذين الشكلين برمز اغ = اغ حاصلا وحده فى المدة الاولى فاذا اسقطنا اغ فى اغَ على قوس اق. و اغ فى اغَ على قوس اق كان اغَ و اغ هما القوتان المماستان

ولنمد خطى اص و اص الافقيين الى خطى ثق و ثق الرأسيين فاذا فرضنا ان مثلث اغ غَ صغير جدا وامكن جعل قوس اغَ عمودا على غ غَ وكذلك على ثا فان مثلثى اثص و اغ غَ القائمى الزاوية يكونان متشابهين حيث ان ضلعيهما المتقابلين عمودان على بعضهما

وقد يبرهن بمثل ما تقدم (شكل ١٦) على ان مثلثى اثص و اغ غَ القائمى الزاوية يكونان متشابهين فاذن يحدث هذان التناسبان وهما.

اث : اغ :: اص : اغَ

اث : اغ :: اص : اغَ

لكن حيث ان اث و اث متساويان وكذلك اغ و اغ فانه يحدث ايضا هذا التناسب وهو اص : اغَ :: اص : اغَ

فاذا فرضنا الآن ان الرجة تكون قليلة الامتداد جدا فان الفاضل بين
اص وقوس اق يكاد يكون معدوما وكذلك فاضل اصہ وقوس
اه وعلى ذلك تكون المسافة المقطوعة فى الوقت الاول مناسبة تقريبا
لامتداد قوسى اق و اه
و يبرهن ايضا بوجه تقريبى على ان السرعة المماسة تزداد عقب الوقت الثانى
والثالث والرابع والخامس وبناء على ذلك تكون المسافة التى يقطعها البندول
الاول والثانى فى كل من هذه الاوقات مناسبة لقسى المعدة لسير البندول
وعلى ذلك متى كانت المسافة الباقية التى لم يقطعها البندول الاول معدومة
كانت المسافة الباقية التى لم يقطعها البندول الثانى معدومة ايضا وحينئذ
يصل البندولان فى زمن واحد الى اعظم رجة فاذن يكون للرجات مدة واحدة
اذا قطع النظر عن الفاضلات الصغيرة جدا
و يكون لهذه الخاصية الاخيرة منفعة عظيمة فى الفنون وعلوم الرصد فى حالة
ما اذا تحرك البندول وخلى ونفسه وعارضت مقاومة الهواء جميع حركاته
وابطأتها بالتدريج وبذلك تنقص مسافة الرجات لكن لم تزل مدتها واحدة
فاذا كان البندول ثقيلا جدا كالرصاص او البلاتين كانت المقاومة التى
تعرض لهذا الجسم ضعيفة لا تغير مدة رجاته الا تغيرا قليلا فيكون معظم
هذه الرجات باقيا تقريبا على مدته الاصلية غير أن تكرر الرجات المستمر المعرض
لمقاومات الهواء الصغيرة ينقص بالتدريج مسافة الرجات ومع ذلك كله
تكون تلك الرجات متساوية تقريبا وزيادة على ذلك ينقص الفاضل الصغير
الموجود بين المدد المتتالية بحسب مخالفة هذه الرجات للرجة الاصلية
ثم ان الاجسام تكون سريعة الوقوع اذا كان مبدء وقوعهما من نقط قريبة
من مركز الارض وقد علم مما سبق أن المسافتين الرأسيتين اللتين يقطعهما الجسمان
المخليان وانفسهما للتثاقل بدون معارض تكونان على نسبة منعكسة من
مربعى بعديهما عن مركز الارض

وعلى ذلك متى كانت اطوال البندولين على نسبة منعكسة من مربع بعد البندول عن مركز الارض فان رجات هذين البندولين تكون حاصلة فى زمن واحد

وقد دلت الارصاد الفلكية وقياس الارض دلالة هندسية على أن الكرة الارضية مسطحة من جهة القطبين لان سكان الارض اذا قربوا من القطب قربوا ايضا من مركز الارض وبموجب ذلك اذا كان الانسان فى جهة القطب فانه يرى البندولين اللذين تحدث رجاتهما فى زمن واحد اطول مما اذا رآهما وهو فى خط الاستواء فحينئذ اذا كان مبدء السير من خط الاستواء لزم ان البندول يتزايد بالتدريج كلما قرب الانسان من القطب لتكون مدة الرجات واحدة وزيادة على ذلك يكون طول البندول مبينا فى كل مكان لبعد مركز الارض عن النقطة التى يدق فيها ذلك البندول

وبدوران الارض ينعدم من تثاقل الاجسام جزء صغير لتعادل قواها المبعدة عن المركز وتثبت تلك الاجسام على سطح الكرة وهذه القوة التى لا وجود لها فى القطب تبلغ نهايتها الكبرى فى خط الاستواء

وملاحظة سببى التغير معا تعلم مطابقة العلم للتجربة ولله در المهندس بوردا فانه لمهارته اخترع بندولا منتظما بواسطته يحصل مع غاية الضبط قياس ابعاد مركز الارض عن نقط سطحها التى يتألف منها الخط الخاى الذى ينبنى على قياسه الطريقة المترية ثم ان ما وقع بين النتائج الحادثة فى موضوعنا هذا من علمى الهندسة والميكانيكا كان غريب التوافق والاتحاد وهو من اعظم الشواهد على ما للعلوم من القوة من حيث الاستعانة ببعضها على فهم غوامض البعض الآخر ومن حيث انه يتوصل بها الى صحة الظنيات التى لا يخلو عنها كل علم ونظمها فى سلك الطرق المتحدة المآل التى لا يوجد فيها الخطأ الا نادرا بحيث تكون مثلها فى القطع بصحتها

وعوضا عن أن نفرض أن التثاقل يتغير نفرض أن طول خيط التعليق هو الذى يتغير ونفرض بندولين غير متساويين كبندولى ثَا و ثَا

(شكل ١٧ و ١٨) فيحدث هذا التناسب وهو

اث : اث :: م٢ : ١

فاذا كان زيادة على ذلك نسبة قوس اق : قوس اں :: م٢ : ١

كان شكلا اثق و اثں متشابهين

ولتكن اغ هي المسافة التي تقطعها في زمن ط = ١ بواسطة

التثاقل نقطة ا المادية المفروض انه لا معارض لها وليكن اغَ = م٢

× اغ فيكون اغَ حينئذ دالا على المسافة التي يجبر تأثير التثاقل جسم ا

المفروض انه لا معارض له على قطعها في اوقات عدد م (وحرف م يدل

على عدد غير محدود)

ولنسقط اع في اغَ و اغ في اغ فيحدث من مثلثي اغغَ

و اغغَ المتشابهين هذا التناسب وهو

اث : اث :: اغ : اغ :: اغَ : اغَ :: اق : اں

وعلى ذلك فسافتا اغَ و اغَ اللتان قطعهما البندولان بواسطة تأثير

التثاقل المكرر في زمن م بالنسبة للبندول الاول وزمن ١ بالنسبة

للثاني تكونان مناسبتين لقوسي اق و اں فيتحرك حينئذ البندولان

بالتناسب على قوسي اق و اں بحيث تكون ازمنة البندول الاول م

حين تكون ازمنة الثاني ١ فاذن تكون نسبة الزمنين الكليين اللذين

استغرقهما البندولان في الوصول من اعلى نقطة الى الخط الرأسي الى بعضهما

كنسبة م : ١ متى كانت نسبة طولي البندول الى بعضهما :: م٢ : ١

بمعنى انه في المحل الواحد من الارض تكون اطوال البندولين غير المتساويين

مناسبة لمربعي الزمنين اللذين استغرقهما هذان البندولان في احداث رجاتهما

واول من عرف قانون تحرك البندولات هو المهندس الشهير غاليلة صاحب الاستكشافات اللطيفة فى ميكانيكا المتأخرين وقد اجرى فى ذلك عملية عظيمة تتعلق بقياس ارتفاع القباب والقبوات

وقد جرت العادة بانه يعلق فى الهياكل والسرايات باعلى نقطة من القباب والقبوات تحفات ذات ثقل عظيم بالنسبة للحبل او السلسلة المعلقة هى بها ويكفى فى احداث ارتجاج هذه البندولات العظيمة ادنى شئ من الهواء

وقد لاحظ المهندس غاليلة مدة هذه الارتجاجات فرأى أن المدة التى يرتج فيها بندول التحفة الواحدة عشر مرات مثلا لا يرتج فيها غيره الا مرة واحدة وحيث ان مربع العشرة اى عشرة مضروبة فى مثلها يساوى مائة يكون البندول الاول اطول من الثانى مائة مرة فاذا كان طول البندول الصغير معلوما فانه يحدث بأخذه مائة مرة طول البندول الكبير وبذلك يعلم الارتفاع الذى يكون لمفتاح القبة او القبوة فوق التحفة التى لقربها من الارض يسهل قياس ارتفاعها وعلى ذلك يمكن استعمال البندول فى قياس الزمن بواسطة تساوى مدة رجاته الصغيرة ويمكن استعماله ايضا فى قياس الارتفاعات بواسطة زيادة تلك المدة اونقصانها

وقد عرف طول البندول الذى يدق الثوانى الستينية برصدخانة مدينة باريس معرفة صحيحة فكان مقداره من الامتار ٩٩٣٨٢٦٧ ر ٠

فعلى ذلك لو انعدمت اصول الاقيسة الفرنساوية بحادثة من حوادث الزمان وتقلبات الدهر حتى صارت خفية على العقول لامكن معرفة طول المتر بمجرد النظر الى البندول الذى يدق الثوانى بمدينة باريس

ولو عرف الرومان واليونان مثل هذه الطرق الناشئة من العلوم لبقيت جميع اقيستهم عندنا الى الآن ولما بقى من المسائل التى لابد منها فى العلوم والفنون والحرف مسئلة بلا حل وبيان

ولنطنب فى الكلام على هذا الامر المهم الخاص بالعلوم التى بها يتوصل

الى ضبط اشغال الانسان وان كان الزمن متقلبا غير مضبوط وبسببها تناط الارصاد والاشغال الوقتية بحركة الزمن المستمرة وقطع المسافات الارضية التى لا تتغير وبذلك تحقق ثمرات مشروعات الانسان ويخلد ذكره على ممر الازمان فنقول

ان الساعاتية اخترعوا امرا بديعا يتعلق بالبندول وهو صناعة الآلات الدالة على الزمن المعروفة بالبندولات

ولنفرض دائرة معدنية محدبة من جهة المركز على هيئة العدسة فلذا سميت بالعدسة ونعلقها فى قضيب يكون متجها الى مركزها فاذا حركت حول الطرف الآخر من القضيب المذكور حدث عن ذلك بندول كالذى يستعمله الساعاتية

وكل رجة من رجات هذا البندول الحاصلة فى ازمنة متساوية الموافقة للسير الثابت للبندول او الساعة الدقاقة تكون بمنزلة المحافظ للقوى والمنظم لها ولا تكون هذه الآلة مضبوطة الا اذا كانت لا تتغير ابعاد المادة التى تتركب هى منها حيث ان القضيب المعد لتعليق العدسة يمتد بواسطة تأثير الحرارة وينكمش بواسطة تأثير البرودة وبذلك تكاد مدة رجات البندول تتغير دائما وقد صنعوا بندولات تعديل وهى بندولات تتعادل فيها تغيرات اطوال الاجزاء المتنوعة المركبة لها

وقد تبين انه كلما زادت الحرارة امتدت قضبان النحاس بنسبة معلومة اكثر من قضبان الحديد وكلما نقصت الحرارة انكمشت تلك القضبان بنسبة معلومة اكثر منها ايضا وبموجب ذلك استعملوا للتعليق عوضا عن قضيب واحد عدة قضبان بعضها من الحديد وبعضها من النحاس

ولنفرض قضيبا من الحديد كقضيب $\overline{\text{اب}}$ (شكل ١٩) نجعل فى نهايته السفلى عارضة افقية كعارضة $\overline{\text{شد}}$ عليها قضيبان رأسيان من النحاس كقضيبي $\overline{\text{شه}}$ و $\overline{\text{دف}}$ وعارضة اخرى افقية بمنتصفها طوق يمر منه قضيب $\overline{\text{اب}}$ تجمع بين قضيبي النحاس المذكورين ويكون

فى نقطتى

في قطعتي $\overline{ك}$ و $\overline{ل}$ اللتين هما نهايتا العارضة المذكورة قضيبان من حديد كقضيبي $\overline{كم}$ و $\overline{لن}$ مجتمعان معا بواسطة عارضة $\overline{من}$ ومثبتان في عدسة $\overline{و}$ فحينئذ يعلم ان ازدياد الحرارة في هذه الحالة على قضيبي الحديد وهما $\overline{اب}$ و $\overline{كم}$ اللذين على ارتفاع $\overline{اى}$ الحقيقي يزيد تباعد نقطة التعليق وهي $\overline{ا}$ عن مركز العدسة زيادة مناسبة لارتفاع $\overline{اى}$ المذكور وأن قضيبي النحاس وهما $\overline{ثه}$ و $\overline{دف}$ عند امتدادهما بواسطة تأثير الحرارة يرفعان عارضة $\overline{كل}$ ويرفعان ايضا في زمن واحد قضيبي الحديد وهما $\overline{كم}$ و $\overline{لن}$ وكذلك عدسة $\overline{و}$ المعلقة فيهما فتكون الكمية التي ترتفع بقدرها العدسة بواسطة تاثير قضيبي النحاس مناسبة لطول $\overline{هث}$ او $\overline{فد}$ وينتج من ذلك انه اذا كان طولا $\overline{اى}$ و $\overline{هث}$ مناسبين لامتداد النحاس في الاول والحديد في الثاني يكون مركز العدسة منخفضا بامتداد الحديد بقدر الكمية التي يرتفع بها المركز المذكور بامتداد النحاس وما فرضناه في ازدياد الحرارة يمكن فرضه ايضا في نقصانها فتكون الكمية التي يرتفع بقدرها مركز العدسة بانكماش قضيبي الحديد مساوية للكمية التي ينخفض بقدرها مركز العدسة بتأثير انكماش قضيبي النحاس •

وقد فرضنا في جميع ما ذكرناه أن البندول ليس الا خيطا مجردا عن التثاقل معلقا بنهايته نقطة مادية لها ثقل ما ولكن ليس في الطبيعيات بندولات بهذه المثابة فاذا استعمل في ذلك سلك لين او قضيب غير لين كان لكل من اجزائه ثقل معلوم وحجم معلوم وكذلك الجسم المعتبر نقطة مادية له ثلاثة ابعاد تمنع التباسه بالنقطة المادية المذكورة ولا بدّ من معرفة القوانين التي تكون بمقتضاها حركات هذا البندول المعروف بالبندول المركب

ولنعلق فى نقطة واحدة من محور واحد بندولين متساويي الجسم احدهما وهو ث و بسيط (شكل ١٤) والآخر وهو ث د ه ف مركب فمتى استقر هذان البندولان صار ساق البندول البسيط رأسيا ومارا بمركز ثقل البندول المركب

ولندفع هذين البندولين بقوة افقية مؤثرة على بعد كبعد ر عن المحور فيكون تأثير التثاقل معدوما بالمحور فى الزمن الاول ليكون للبندولين سرعة واحدة منزوية وينبغى أن يكون مركز دوران البندول المركب متباعدا عن المحور بكمية ر المساوية لطول البندول البسيط فاذن يكون

$$ر = د + \frac{ن}{د}$$

ولنبحث عن التأثير الذى يحدثه التثاقل على البندولين عند تباعدهما من المستقيم الرأسى فنقول

لنفرض أن التثاقل يؤثر من مبدء الامر على غ و (شكل ١٢) الذى هو ساق البندول البسيط المار دائما بنقطة غ التى هى مركز ثقل البندول المركب وليكن و ل = غ ے هو الارتفاع الرأسى الذى نقيس به تأثير التثاقل فى البندولين فى زمن يسير كزمن ط ونحلل و ل و غ ے الى و ل و غ ے تحليلا عموديا على ث غ و فيكون تأثير التثاقل الحاصل على مركز ثقل البندول المركب مبينا بخط غ ے وتأثير التثاقل الحاصل على البندول البسيط مبينا بخط و ل = غ ے لكن حيث كانت نقطة و موجودة فى مركز دوران البندول المركب فان قوة غ ے المنقولة الى و ل تدير البندول كما اذا كان فى نقطة و اى كما لو استبدل البندول البسيط بالبندول المركب

فاذن

فاذن تكون السرعة المنزوية الحادثة من التثاقل واحدة في كل من البندولين البسيط والمركب وعلى ذلك يكون اولا البندولان البسيطان مستمرين بواسطة تأثيرات التثاقل المتوالية على ارتجاجهما بسرعة واحدة وثانيا يكون طول البندول البسيط هو بعد المحور عن مركز الدوران المعروف حينئذ بمركز الارتجاج فاذن متى اعتبر في بندول مركب أن محور التعليق كمحور الدوران فان مركز الدوران يمتزج بمركز التعليق ويصيران شيأ واحدا

وقد تقدم انه متى نقل بالتوازي محور الدوران من ث الى و انتقل مركز الدوران من و الى ث على مستقيم ث غ و فاذن اذا نقل محور تعليق البندول المركب من ث الى و كان مركز الرجة منقولا من و الى ث وموجودا على محور التعليق الاول وقد استعملوا هذه الخاصية في تعيين وتحقيق طول البندول البسيط الذى تحصل رجاته في زمن حصول رجات البندول المركب

ثم ان البندولات المركبة واوضاع مراكز ثقلها ومحاور تعليقها ومراكز ارتجاجها هي من اعظم المهمات في صناعة الساعات الدقاقة وغيرها من الآلات ذات التحرك المتردد لاسيما تحرك السفن عند ميلها من جانب الى آخر اومن المقدم الى المؤخر وسيأتي في الجزء الثالث من هذا الكتاب عند الكلام على قوة الماء توضيح ذلك بأتم وجه

(بيان معادل الآلات البخارية)

في صناعة آلات الدوران التي تختلف فيها شدة القوة كالبخار على حسب تغير النار المستعملة تستعمل البندولات المركبة لتفتح بالتدريج مسلكا للبخار عندما يحدث منه ضغط يبلغ حد النهاية بحيث لو تجاوز ذلك لكان خطرا ومثال ذلك كرتان من حديد ملحومتان بقضيبين من حديد ايضا يرتجان على محور افقي يمر باسطوانة رأسية فاذا دارت هذه الاسطوانة حدث من دورانها قوة مبعدة عن المركز لكل من البندولين المركبين اللذين يدوران معها

بواسطة هذه القوة ويرتفع كل منهما حتى تكون محصلة هاتين القوتين مارة بمحور التعليق وبذلك تكون معدومة وحيث كانت هاتان الكرتان اللتان مجسمهما واحد الموضوعتان على وجه متماثل بالنسبة للمحور يرتفعان وينخفضان فى كل وقت بكمية واحدة فان الطوق الذى يدور بدون مانع حول الاسطوانة يكون معلقا بقضيبين متصلين بساقى البندولين فاذن يكون هذا الطوق عرضة تارة للصعود واخرى للهبوط على حسب قرب الكرتين وبعدهما عن المحور وقد يحرك هذا الطوق ذراع الرافعة الذى يفتح او يغلق كثيرا اوقليلا المنفذ الذى يخرج منه البخار المتراكم (كما ستقف على ذلك فى الجزء الثالث من هذا الكتاب عند ذكر القوى المحركة)

(الدرس الثامن)
(فى بيان الرافعة)

قدذكرنا جميع ما يتعلق بتحويل التحركات الحادثة بواسطة الحبال اللينة جدا التى لافائدة لها الا مجرد الشد بخلاف القضبان الغير القابلة للانثناء فان لها فائدتين وهما الدفع والشد

وهنالك عدة آلات ليس الغرض منها الا أن تستعمل واسطة بين القوة والمقاومة المتجهتين على مستقيم واحد كيد المسحة (شكل ٢) وكماشة المدفع (شكل ٣) فى فن الطوبجية وكخطاف البحارة وسيقان المكابس ونحوها

ولا يشترط فى القضيب الغير القابل للانثناء كقضيب اب (شكل ١) أن يكون مستقيما بل يكفى أن تكون صورة انحنائه ثابتة لا تتغير فاذا اوقعنا على نقطة ب قوة تشد اوتدفع فى جهة ب ا او اب فان تأثير هذه القوة يكون واحدا دائما كما لو كان القضيب مستقيما

والرافعة قضيب غير قابل للانثناء مستند على نقطة ثابتة تعرف بنقطة الارتكاز وواقع عليه فى نقطة ثانية تأثير قوة لاجل ابطال مقاومة حاصلة فى نقطة ثالثة وهى على ثلاثة انواع

النوع الاول (شكل ٥) تكون فيه نقطة الارتكاز وهى آ موجودة

بين قوة $\overline{ح}$ ومقاومة $\overline{ر}$

والنوع الثانى (شكل ٦) تكون فيه مقاومة $\overline{ر}$ موجودة بين قوة $\overline{ح}$ ونقطة الارتكاز وهى $\overline{ا}$

والنوع الثالث (شكل ٧) تكون فيه قوة $\overline{ح}$ موجودة بين مقاومة $\overline{ر}$ ونقطة الارتكاز المذكورة

ولنفرض أن الرافعة المجردة عن التثاقل تكون قضيبا مستقيما كقضيب $\overline{ب ا ث}$ (شكل ٥) او $\overline{ب ث ا}$ (شكل ٦) او $\overline{ا ب ث}$ (شكل ٧) العمودى على اتجاه القوة والمحصلة

فلا يمكن انعدام جهد قوة $\overline{ح}$ ومقاومة $\overline{ر}$ الا بنقطة الارتكاز وهى $\overline{ا}$ الثابتة فى الآلة دون غيرها فاذن تكون محصلة $\overline{ح}$ و $\overline{ر}$ مارة بنقطة $\overline{ا}$ واذن يكون

$$\overline{ح} \times \overline{اب} = \overline{ر} \times \overline{اث}$$

اعنى أن القوة مضروبة فى بعدها عن نقطة الارتكاز تكون مساوية للمقاومة مضروبة فى بعدها عن نقطة الارتكاز أيضا

فاذا استبدلنا رافعة $\overline{ب ا ث}$ العمودية على اتجاه قوتى $\overline{ح}$ و $\overline{ر}$ برافعة اخرى مائلة منحنية او مستقيمة كرافعة $\overline{ب ا ث}$ لزم أن تكون المحصلة دائما مارة بنقطة $\overline{ا}$ ومن ذلك يحدث

$$\overline{ح} \times \overline{اب} = \overline{ر} \times \overline{اث}$$

وليس $\overline{اب}$ و $\overline{اث}$ الا مستقيمين وهميين عمودين على اتجاه قوتى $\overline{ح}$ و $\overline{ر}$ ولاجل اختصار العمليات يمكن أن نفرض دائما أن كل ذراع من الرافعة يكون مستقيما وعمودا على اتجاه القوة الواقعة على طرفه

ولنفرض قوتين متساويتين كقوتى $\overline{ح}$ و $\overline{ر}$ (شكل ٨) عموديتين على $\overline{اب}$ و $\overline{اث}$ المتساويين اللذين هما ذراعا رافعة $\overline{ب ا ث}$ المنكسرة فتكون هاتان القوتان مؤثرتين فى جهتين متضادتين بحيث يديران الرافعة حول نقطة الارتكاز وحيث كان التساوى حاصلا فى كلتا الجهتين وكانت الآلة متوازنة فان هذا التوازن يبقى على حاله مهما كان مقدار

زاوية $\overline{\text{ب ا ث}}$

ولتكن الآن قوة $\overline{\text{ر}}$ مساوية ومقابلة لقوة $\overline{\text{ر}}$ فتكونان متوازنتين وحينئذ تؤثر قوة $\overline{\text{ر}}$ على مقاومة $\overline{\text{ر}}$ كتأثير قوة $\overline{\text{ح}}$ عليها فاذن تكون $\overline{\text{ح}}$ و $\overline{\text{ر}}$ المتساويتان الواقعتان على طرفى ذراعى الرافعة المتساويين وهما $\overline{\text{اب}}$ و $\overline{\text{اث}}$ لهما شدة واحدة بها تدور نقطة $\overline{\text{ا}}$ الثابتة

مثلا اذا اثرنا بمستقيم $\overline{\text{اب}}$ لجر ازمربوط به فرس يسحبه على $\overline{\text{ح ب}}$ فان تأثير الفرس الواقع على نقطة $\overline{\text{ا}}$ يكون واحدا فى سائر نقط الدائرة التى يقطعها $\overline{\text{اب}}$ مادام بعد $\overline{\text{ا}}$ عن $\overline{\text{ب ح}}$ ثابتا على حالة واحدة

ولنفرض الآن أن قوتين حيثما اتفق كقوتى $\overline{\text{ح}}$ و $\overline{\text{ر}}$ (شكل ٩) يكونان واقعتين على رافعة حيثما اتفق كرافعة $\overline{\text{ب ا ث}}$ بحيث ان $\overline{\text{ا}}$ هى نقطة الارتكاز ندير $\overline{\text{اب}}$ الى $\overline{\text{ا ب}}$ بحيث يؤول $\overline{\text{ب ح}}$ الى $\overline{\text{ب ح}}$ الموازى لخط $\overline{\text{ث ر}}$ ويلزم أن تكون محصلة قوتى $\overline{\text{ر}}$ و $\overline{\text{ح}}$ مارة دائما بنقطة $\overline{\text{ا}}$ الثابتة ومن هنا يحدث

$$\overline{\text{ر}} \times \overline{\text{اث}} = \overline{\text{ح}} \times \overline{\text{اب}} = \overline{\text{ح}} \times \overline{\text{اب}}$$

وعلى ذلك فمهما كان اتجاها القوة والمحصلة يلزم دائما أن تكون القوة مضروبة فى بعدها عن نقطة الارتكاز مساوية للمقاومة مضروبة فى بعدها عن نقطة الارتكاز ايضا

(تطبيق ما تقدم على تحويل التحركات)

اذا اريد بواسطة الحبال تحويل تحرك الى اتجاهى $\overline{\text{ب ح}}$ و $\overline{\text{ث ر}}$ المتغايرين فانه يستعمل لذلك رافعة منكسرة كرافعة $\overline{\text{ب ا ث}}$ (شكل ٩) و (شكل ١٠) يربط بها حبلان اوسلسلتان او جنزيران اوسلكان معدنيان مثل $\overline{\text{ب ح}}$ و $\overline{\text{ث ر}}$ وتكون نقطة $\overline{\text{ا}}$ التى هى رأس زاوية $\overline{\text{ب ا ث}}$ ثابتة على محور صغير تدور حوله الرافعة وهذه النقطة هى نقطة ارتكاز الرافعة المذكورة

فاذا

فاذا اقتضى الحال تحويل تحركات صغيرة فانه بواسطة شد سلك ح (شكل ١٠) تنتقل ب الى ب ويكون قوس ب ب مغايرا قليلا لجزء من مستقيم ب ح وبناء على ذلك لا يتغير اتجاه سلك ب ح ولا اتجاه سلك ث ر المشدود بالذراع الثانى من الرافعة كما ان الذراع الاول منهما مشدود بالسلك الاول

وهذه هى الكيفية المستعملة فى توجيه السلوك المعدنية الواصلة من الجرس الموضوع بقرب الاماكن التى يكون فيها الخدم الى المكان الذى يكون فيه المنادى وتستعمل السلوك والرافعة المنكسرة فى الآلات الكبيرة لاجل تحويل التحركات المترددة

ولنفرض أن المطلوب فى مجرى المكبس رفع مكبس م م (شكل ١٢) وخفضه بواسطة قوة افقية تشد فى اتجاه ب ح فمن البديهى انه اذا شد سلك ب ح فى جهة السهم بواسطة الرافعة القائمة الزاوية وهى ب ا ث يرتفع ذراع رافعة ا ث ويرفع مكبس م واذا اريد أن ث ط الذى هو ساق المكبس يكون دائما على رأسى واحد لزم أن يكون دائما مماسا لقوس ث ث الصلب المرسوم من نقطة ا المأخوذة مركزا

فاذا افلتنا سلك ب ح فان ثقل المكبس يوصل الرافعة الى وضعها الاصلى ثم يأخذ هذا السلك فى التأثير ثانيا لاجل رفع المكبس وقد تطلق التحركات المترددة على التحركات التى تحصل بالتعاقب فى جهتين ويؤخذ من درجات البندول شاهد عظيم على مثل هذه التحركات

وقد تطبق عملية الرافعة المنكسرة على النشر تطبيقا مفيدا بواسطة علم الميكانيكا فيلصق منشار د ض (شكل ١٣ مكرر) من نقطة ل بساق د ث ومن نقطة ث بذراع ث ا من رافعة ث ا ب مع تاثير قوة ح على ساق ب ح غير القابل للانثناء فاذا شد ب ح رسم ذراع الرافعة وهو ا ث قوسا وكان المنشار مشدودا من جهة الرافعة

ومتى دفع ب ح حصل تأثير مضاد وكان المنشار مدفوعا بالرافعة ولهذا كان فى علم الميكانيكا مايماثل بين تحرك المنشارين (شكل ١٣) اللذين تكون اعضاؤهما وهى ث ا ب ح ر ض و ث ا ح ر ض رافعتين منكسرتين

و يمكن بواسطة الرافعة توازن القوة الكبيرة مع القوة الصغيرة * مثلا اذا كانت المقاومة اقرب لنقطة الارتكاز من القوة بمائة مرة فقطعت بذلك مسافة لاتبلغ هذا القدر عند حصول التحرك لزم بمقتضى التعديل أن تكون المقاومة اكبر من القوة مائة مرة (فاذا كان حاصل ضرب المقاومة فى ذراع رافعتها اقل من حاصل ضرب القوة فى ذراع رافعتها كان التحرك حاصلا فى جهة القوة وكانت الآلة سائرة الى جهة الامام الا أن سيرها يكون بواسطة جزء من القوة لم ينعدم بالكلية لاجل توازن المقاومة فاذن يلزم طرح هذا الجزء متى اريد تحصيل جزء القوة الذى لابد منه فى حصول التحرك)

هذا وقد زعم من لامعرفة له بقواعد علم الميكانيكا مستغربا لهذه النتيجة انه يمكن احداث القوة بواسطة الآلات ومقتضاه انه يمكن بواسطة قوة صغيرة ابطال مقاومة متوسطة وحفظ مايبقى من القوة الكافية لتحصيل التأثيرات العظيمة وذلك لان القوة الصغيرة على زعمه توازن القوة الكبيرة

و يكفى فى الوقوف على خطأ هذا القول اعتبار تحرك الرافعة فاذا فرضنا ان قوتى ح و ر (شكل-١٠) متوازنتان بواسطة رافعة ب ا ث ثم زدنا القوة الاولى عن الثانية قليلا فان التوازن ينعدم و يكون التحرك حاصلا حيث ان ذراع الرافعة وهو ا ب ياخذ فى الدوران فى جهة ب ح الذى هو اتجاه القوة الكبيرة والذراع الآخر وهو ا ث يدور فى جهة ث ر المقابلة لهذه القوة المقاومة فيقطعان فى وقت ما زاويتين متساويتين كزاويتى ب ا ب و ث ا ث فاذن يكون قوسا ب ب و ث ث اللذان قطعتهما نقطتا ب و ث مناسبين لطول ذراعى الرافعة وهما ا ب و ا ث (ولنفرض أن هذين الذراعين يكونان عمودين

على

على اتجاه القوتين المقابلتين لهما)

لكن حيث ان ح : ر :: اث : اب

يكون ح : ر :: قوس ثث : قوس بب

فعلى ذلك تكون قوتا ح و ر مناسبتين تناسبا متعاكسا للقوسين اللذين تقطعهما نقطتا وقوعهما عند فرض اختلال التوازن

و بهذا البرهان يظهر أن القوة الموازنة للمقاومة تكون مجبورة على قطع قوس كبير بقدر صغرها بالنسبة للمقاومة فيلزم حينئذ أن القوة في المسافة التي قطعتها تفقد ما اكتسبته بنفسها لاجل توازن المقاومة فاذن تكون كمية التحرك المقيسة بحاصل ضرب كل قوة في المسافة المقطوعة واخذة في جهة المقاومة بدون امكان زيادتها فان هذه القاعدة الشهيرة التي ذكرناها عامة في جميع الآلات ولا يمكن فيها اصلا ازدياد كمية التحرك فاذن يثبت استحالة احداث القوة

فاذا اخذنا مدة التحركين الحادثين من نقطتي ب و ث وجعلناها وحدة (شكل ١٠) فان مسافتيهما وهما بب و ثث يدلان على سرعتيهما ويطلق اسم السرعة المنبهة على السرعة التي تأخذها ب و ث اللتان هما نقطتا وقوع القوة والمقاومة اذا اختل التوازن قليلا جدا على حين غفلة ويعبر في الرافعة عن هذا التساوي وهو ح × بب = ر × ثث بأن يقال في حالة التوازن ان القوة مضروبة في سرعتها المنبهة تكون مساوية للمقاومة مضروبة في سرعتها المنبهة

واذا فرضنا أن ذراع الرافعة وهو اب (شكل ١١) مائل بدلا عن كونه عمودا على بح الذي هو اتجاه القوة وادرنا الرافعة قليلا بقدر زاوية بام = بام وكان اب عمودا على بح الممتد فحيث ان نصفي القطرين مناسبان للقوسين يحدث هذا التناسب وهو

اب : اب :: بم : بم

فاذا مددنا من نقطة م مستقيم م ن عمودا على ب ح الممتد حدث من ذلك مثلثا ب م ن و ا ب ـ وهما متشابهان حيث ان اضلاعهما اعمدة على بعضها ومن ذلك يحدث هذا التناسب وهو

ا ب : ا ـ :: ب م : ب ن

وذلك يقتضى أن ب ن = ـ م وحينئذ فهما كانت ب التى هى نقطة وقوع قوة ح على ذراع ا ب فانه عند اختلال التوازن قليلا وقياس المسافة التى قطعتها نقطة الوقوع على ب م الذى هو اتجاه القوة تحدث سرعة واحدة منبهة مقومة على هذا الاتجاه فحينئذ يكون التوازن حاصلا متى حدث عن القوة المضروبة فى سرعتها المنبهة المقيسة بالوجه المتقدم اوعن المقاومة المضروبة ايضا فى سرعتها المنبهة المقيسة على الوجه المذكور حاصل واحد على اى حالة كانت نقطتا وقوع القوة والمقاومة بفرض أن هاتين القوتين يديران الرافعة فى جهتين متضادتين

وهذه هى القاعدة الشهيرة المعروفة بقاعدة السرعة المنبهة وليست مختصة بالرافعة بل تجرى ايضا فى سائر الآلات وجميع ما للقوى من التراكيب الوهمية وقد بنى المهندس لاغرنج الشهير على هذه القاعدة اصول الميكانيكا التحليلية التى جمعها فى كتابه الشهير الذى هو من اعظم مؤلفات هذا العلم

ثم ان محصلة القوتين المتوازنتين على الرافعة اذا انعدمت بنقطة الارتكاز تكون مساوية للضغط الحاصل من الرافعة على نقطة الارتكاز المذكورة

فاذن ينتج اولا انه متى كانت القوة والمقاومة متوازنتين ومتجهتين فى جهة واحدة كان الضغط الحاصل من الرافعة على نقطة الارتكاز مساويا لمجموع القوة والمقاومة

وثانيا متى كانت القوتان مؤثرتين فى جهتين متضادتين كان الضغط الحاصل من الرافعة على نقطة الارتكاز مساويا لفاضل هاتين القوتين ومتجها الى جهة كبراهما

وعلى

وعلى ذلك ففي الرافعة التي من النوع الاول (شكل ٥) يكون ضغط $\overline{ز}$ الحاصل على نقطة الارتكاز مساويا لمجموع القوة والمقاومة

وفي الرافعة التي من النوع الثاني (شكل ٦) يكون هذا الضغط مساويا للمقاومة ناقصا القوة ومتجها الى جهة المقاومة

وفي الرافعة التي من النوع الثالث (شكل ٧) يكون مساويا للقوة ناقصا المقاومة ومتجها الى جهة القوة فاذا لم تكن قوتا $\overline{ب ح}$ و $\overline{ث ر}$ متوازيتين لزم أن نمدّ اتجاهيهما حتى يتقاطعا في نقطة $\overline{د}$ (شكل ١٤) ثم نرسم على مستقيمي $\overline{ب د}$ و $\overline{د ث}$ متوازي الاضلاع لقوتي $\overline{ح}$ و $\overline{ر}$ وهو $\overline{ا ب د ث}$ فيكون اوّلا وتر هذا الشكل مارّا بنقطة الارتكاز وهي $\overline{ا}$ وثانيا يكون هذا الوتر دالا مقدارا واتجاها على الضغط الحاصل على نقطة الارتكاز

(وليكن $\overline{ا ب د ث}$ هو متوازي الاضلاع الحادث من مدّ $\overline{ا ب}$ و $\overline{ا ث}$ الموازيين لخطي $\overline{ث ر}$ و $\overline{ب ح}$ بحيث ان مستقيمي $\overline{ا ب}$ و $\overline{ا ث}$ عمودان على مستقيمي $\overline{ب ح}$ و $\overline{ث ر}$ فان مثلثي $\overline{ا ب ب}$ و $\overline{ا ث ث}$ يكونان قائمي الزاوية وزيادة على ذلك يكون كل من زاوية $\overline{ب}$ من المثلث الاول وزاوية $\overline{ث}$ من المثلث الثاني مساويا لزاوية $\overline{ب د ث}$ فتكونان هما ايضا متساويتين فاذن يكون مثلثا $\overline{ا ب ب}$ و $\overline{ا ث ث}$ متشابهين ومن ذلك يحدث هذا التناسب وهو

$$\overline{ا ث} : \overline{ا ب} :: \overline{ا ث} : \overline{ا ب}$$

لكن $\overline{ا ث} = \overline{د ب}$ و $\overline{ا ب} = \overline{د ث}$ فيحدث من متوازي الاضلاع للقوى هذا التناسب وهو

$$\overline{ح} : \overline{ر} :: \overline{د ب} : \overline{د ث}$$

فاذن يكون $\overline{ح} : \overline{ر} :: \overline{ا ث} : \overline{ا ب} :: \overline{ا ث} : \overline{ا ب}$

و $\overline{ح} \times \overline{ا ب} = \overline{ر} \times \overline{ا ث}$

وحينئذ تكون نقطة $\overline{ا}$ المأخوذة في النقطة التي يتقاطع فيها وتر متوازي

الاضلاع للقوى مع رافعة ب ا ث هى فى الحقيقة نقطة الارتكاز وفائدة ذلك اظهار الاتحاد بين امرين متباينين)

فاذا كان هناك عدد ما من القوى مثل ح و خ و ر و ض و ط (شكل ١٥) الواقعة على رافعة ث ب ا د ه ف ونزلنا اعمدة اع و اغ و ار الخ على اتجاه كل من هذه القوى ثم اخذنا اولا لمقادير القوى التى تدير الرافعة فى جهة مجموع حواصل ضرب كل قوة فى ذراع رافعتها وثانيا مجموع الحواصل المقابلة لمقادير سائر القوى التى تكاد تدير الرافعة فى جهة مضادة للمتقدمة كان التوازن حاصلا اذا كان هذان المجموعان متساويين وحينئذ يعلم شرط التوازن من هذا التساوى وهو

ح × اع + خ × اغ الخ = ر × ار + ض × ض ضه الخ

وحيث انهينا الكلام تفصيلا على ما يتعلق بنظرية الرافعة حق أن نتكلم على ما يتعلق بذلك من الاحوال الخصوصية الاصلية وعملياتها فنقول

(بيان الرافعة التى من النوع الاول)

الرافعة البسيطة المنتظمة هى ما كان ذراعاها متساويين والتوازن فيهما مستلزم لتساوى القوة والمقاومة ايضا ومن هذا النوع الميزان فهو كما فى شكل ١٦ كناية عن رافعة ذراعاها وهما اب و اث متساويان وتعرف بقب الميزان ونقطة ارتكازها وهى ا محمولة على لسان لم ه وعلى هذا اللسان محور ل ا ه الافقى الذى يمكن أن يدور حوله قب الميزان وفى كلتا نهايتى هذا القب كفتان مستديرتان (شكل ١٦) اومربعتان (شكل ١٧) مربوطتان بسلاسل اوخيوط ولا بد أن يكون ثقل الكفتين واحدا او أن تكونا متشابهتين وابعادهما واحدة وخيوطهما متساوية ومحور تماثلهما مارا بمركز ثقلهما وأن يكون الوضع الاصلى لتوازنهما هو الوضع

الذى

الذى يكون فيه هذا المحور رأسيا بحيث اذا وضع فى مركز تماثل الكفتين شئ
يراد وزنه تكون هاتان الكفتان باقيتين على وضعهما الاصلى ولا يكون الشئ
الموزون عرضة للسقوط بسبب ميل احدى الكفتين من جهة اكثر من الاخرى
فيوضع فى احدى الكفتين ثقل ح الذى هو كناية عن قوة ح وفى الثانية
الشئ المطلوب وزنه الذى هو كناية عن مقاومة ر فتى كانت هاتان
القوتان متساويتين و كان قب الميزان افقيا فان شرط التوازن يكون

ح × اب = ر × اث

فاذا لم يكن اب مساويا اث بل كان اصغر منه لزم أن تكون ح
اكبر من ر ليكون الحاصلان باقيين على تساويهما فعلى ذلك اذا كان
ذراعا الميزان غير متساويين ووضعت الصنجة فى جهة اصغرهما فانه يوازنها
من البضاعة مايكون دونها فى الثقل وهذا مايسلكه اهل الغش المخسرون
فى موازينهم الفاسدة فاذا اردت اظهار غشهم فضع الصنجة موضع البضاعة
الموزونة وهى موضع الصنجة فحيث ان القوة الصغيرة فى نهاية الذراع الصغير
من الرافعة ينعدم التوازن بين الصنجة والموزون

وقد استعملوا فى كثير من الفنون والتجاريب التى عملها الكيماويون
والطبيعيون والمهندسون كيفية لاتتعلق بضبط الميزان فى شئ حيث يضعون
فى احدى الكفتين جسم ر الذى يراد وزنه وفى الكفة صنج ح التى توازنه
ثم يرفعون ذلك الجسم و يضعون بدله اثقالا جديدة تجمع حتى توازن الصنج
المذكورة بجسم ر فهذه الاثقال الجديدة تدل ضرورة بمجموعها على ثقل
جسم ر مع الضبط

ولاجل اختبار مايتعلق بالميزان اختبارا تاما يلزم اعتبار ثقل الكفتين وقب
الميزان ولابد من وجود التوازن من مبدء الامر قبل وضع اى ثقل فى الكفتين
ولابد ايضا أن يكون ذراعا الرافعة متحدين فى الثقل والطول وأن يكون مركزا
ثقلهما على بعد واحد من المستقيم الرأسى الممتد من نقطة الارتكاز او من
محور قب الميزان

فاذا كان اب و اث ذراعى الميزان وغ و ش مركزى ثقلهما يلزم أن يكون س الذى هو ثقل ذراع اب المحصور فى غ متوازنا مع ص الذى هو ثقل ذراع اث المحصور فى ش فاذن يكون

س × اغ = ص × اش

واذا كان غ و ش ونقطة الارتكاز وهى ا على مستقيم واحد كان التوازن حاصلا دائما على اى حالة كان ميل الرافعة وفى هذه الصورة لا يأخذ الميزان وضعا مخصوصا الا اذا وضع فيه اثقال اجنبية وبالجملة فادنى زيادة فى الثقل تجذب احد ذراعى الميزان الى اسفل ويحصل من ذلك تحرك غير محدود

وينبغى مزيد الاهتمام بجعل مركزى غ و ش اخفض قليلا من نقطة الارتكاز (شكل ١٨) لكن بشرط أن يكونا فى ارتفاع واحد اذا كان ذراعا اب و اث افقيين فاذا اختل التوازن حينئذ قليلا بهبوط اب مثلا (شكل ١٩) ورفع اث فان مستقيم اش يقرب من الافق بخلاف اغ فانه يبعد عنه اكثر من بعده وهو فى وضعه الاول فاذن اذا مددنا مستقيمى س غ غ و ص ش شه الرأسيين من مركزى غ و ش ثم مددنا ايضا خط غ اشه الافقى كان اشه بالضرورة اكبر من اغ لكن يكون فى هذا الوضع س × اغ هو مقدار س و ص × اشه هو مقدار ص = س فاذن يكبر مقدار اليمين وبذلك يأخذ ذراع اث فى الهبوط حتى يصير وضع رافعة ب اث افقيا وحيث ان هذا الذراع هبط بسرعة معلومة بسبب ما اكتسبه من التحرك عند وصوله الى الوضع الافقى فان هذا التحرك يكون مستمرا ويكون اث نازلا تحت الافق بخلاف اب فانه يرتفع فوقه فيحصل بذلك ارتجاج يصير مستمرا متى كان لا يحدث من الاحتكاك ومقاومة الهواء ما يمنع

هذا

هذا الاستمرار الا أن تأثيرهاتين المقاومتين يوقف الموازين المضبوطة ضبطا تاما بعد عدة رجات طويلة المسافة اوقصيرتها لكنها تكون محدودة دائما

وليكن $\overline{و}$ (شكل ١٨ و ١٩) مركز ثقل قب الميزان فاذا كان التوازن مختلا قليلا فان ثقل $\overline{س} + \overline{ص}$ يأخذ فى توصيل $\overline{و}$ الى المستقيم الرأسي بواسطة قوة $= (\overline{س} + \overline{ص})$ مضروبة فى قوس $\overline{م و}$ الذى يقطعه مركز $\overline{و}$ من ابتداء مستقيم $\overline{ا م}$ الراسي وهو قوس مناسب لبعد $\overline{ا و}$ بالنسبة الى زاوية واحدة

واذا اردت أن تعرف عند عمل الميزان هل مركز ثقل القب قريب او بعيد عن نقطة الارتكاز وهى $\overline{ا}$ لزم أن تعدّ فى زمن معلوم رجات هذا القب فان كانت بطيئة جدّا وصعبة الحصول كان المركز قريبا جدّا من نقطة الارتكاز وان كانت سريعة جدّا كان الامر بالعكس فيلزم تقريب المركز من نقطة الارتكاز بأن نرفع اونخفض مركز ثقل قب الميزان وذلك بحذف شئ من جزءه الاسفل اواضافة شئ اليه

وقب الميزان هو بندول مركب تعلم سرعة رجاته ومدتها بالحسابات المذكورة فى الدرس السابق متى تعين مقدارا ينرسى الميزان ووضع مركزه وهو $\overline{و}$

وثم طريقة سهلة يعرف بها صحة وضع قب الميزان وهى أن تأخذ لسان $\overline{ا م}$ المثبت فى القب تثبيتا جيدا (شكل ١٦ و ١٧) وتجعله عمودا على رافعة $\overline{ب ا ث}$ فتكون حالة $\overline{ل م ن}$ الممسكة من نقطة $م$ عند رفع الميزان فى وضع رأسي ومتى كان $\overline{ب ا ث}$ افقيا كان اللسان العمودى عليه رأسيا وحينئذ يكفى لصحة الميزان أن يكون اللسان غير مائل الى جهة اليمين ولا الى جهة الشمال عند خلو كفتى الميزان او عند وضع الصنج فى احداهما والشئ المراد وزنه فى الاخرى

هذا ومقتضى ما ذكرناه من التفاصيل أن الا لات البسيطة لا يمكن أن تبلغ فى الصناعة درجة كمال مالم تتعين القوانين الميكانيكية اللازمة لاجزائها المتنوعة لكى تكون تامة الضبط

والقبان كالميزان فهو رافعة من النوع الاول تستعمل لايقاع التوازن بين ثقل ايا كان وقوة صغيرة تعرف بالرمانة

فنفرض رافعة مستقيمة كرافعة ب اث يكون ذراعها الصغير وهو اث مأخوذا وحدة قياس وذراعها الكبير مقسوما الى عدد ما من الوحدة فبحسب وضع الرمانة المرموز اليها بحرف ح فى نقط التقسيم وهى ١ و ٢ و ٣ و ٤ الخ تكون هذه الرمانة موازنة للثقل المرموز اليه بحرف ر فيكون مساويا للثقل امرة واحدة او ٢ او ٣ او ٤ الخ

فاذا قسمنا كل جزء من اجزاء الذراع المذكور وهو اب المقسوم سابقا الى اجزاء مساوية للذراع الصغير وهو اث تقسيما ثانويا بأن نقسم كل جزء من تلك الاجزاء الى عشرة اجزاء متساوية مثلا فان كلا من هذه الاجزاء الثانوية يدل فى حاصل اب × ح على عشر حاصل اث × ح وذلك يستلزم لاجل حصول التوازن أن نزيد ثقل ر زيادة تساوى عشر ح وكل تقسيم ثانوى مساو لجزء من مائة من اث يدل ايضا فى حاصل ح × اب = اث × ر على جزء من مائة من ح × اث

فعلى ذلك اذا قسمنا ذراع اب الى آحاد وعشرات ومآت ونحو ذلك قسمة مضبوطة امكن تعيين مرات احتواء ثقل ر مثلا على ثقل كثقل ح وتعيين اعشار هذا الثقل المأخوذ وحدة وكذلك عشر هذا الثقل وواحد من مائة منه وهلم جرا

وما ذكرناه فى رجات الميزان يمكن اجراء بعضه فى القبان فيلزم اولا أن تكون نقطتا الوقوع وهما ب و ث موجودتين على مستقيم واحد مع نقطة الارتكاز وهى ا وثانيا أن مركز ثقل القبان يكون اخفض قليلا من نقطة ا ويكون على خط رأسى مع هذه النقطة اذا كان خط اث افقيا

فاذا اقتضى الحال الوقوف على ضبط الوزن بالقبان كان التعويل فى ذلك على تكرير الوزن بمعنى انه بعد حصول التوازن بين الجسم والرمانة وتعيين النقطة التى حصل فيها التوازن نضع محله صنجا بقدر الارطال المعينة بالقبان

فان

فان حصل التوازن كانت الآلة مضبوطة والافلا وبالجملة فمهما كان خلل الآلة المستعملة فان الصنج التي توضع محل الجسم المراد وزنه تقوم مقام زنته حين تتوازن مع الرمانة والفرق الحاصل بين ارطال الصنج والارطال المعينة بالقبان هو خلل تلك الآلة ولا يخفى أن استعمال هذه الطريقة يسهل به فى كثير من الصور ماصعب من العمليات الثابتة بالتجاريب والبراهين ونحو ذلك من اليقينيات

ثم ان القبان من الروافع التى من النوع الاول حيث تتوازن فيه مقاومة اياً كانت مع قوة اصغر منها وليست هذه الروافع مقصورة على تحصيل التوازن بل تستعمل ايضا فى تحصيل التحركات

وذلك كدفة السفن صغيرة كانت اوكبيرة فهى مما نحن بصدده فلنفرض رافعة كرافعة ثاب (شكل ٢١) الثابتة من نقطة ا على مؤخر السفينة يكون احد ذراعيها وهو اب منغمسا فى الماء والثانى وهو اث ممسكا من نقطة ث بيد الرئيس اوغيره اوبآلة ميكانيكية حيث ما اتفق فاذا كانت السفينة سائرة وكانت دفة ثاب موجودة فى اتجاه السير فانه لا يعرض لها مقاومة من الماء بخلاف ما اذا دفع الرئيس يد الدفة التى هى اث الى نقطة ث مثلا فانه يعرض لجزء الدفة وهو اب مقاومة س التى تزداد بازدياد زاوية ب‌اب وتنحل قوة س المائلة الى قوتين احداهما قوة ص التى فى جهة اب ولا تأثير لها الا شد الدفة من جهة طولها لتخلعها من رزاتها والثانية قوة ص العمودية على اب التى تدفع الدفة الى جهة مضادة للسير وبموجب ماسبق فى الدرس الخامس يكون لقوة س تأثير به تدور السفينة ويكون مقداره مساويا ص × غ‌غ بفرض أن غ‌غ هو بعد مركز ثقل السفينة وهو غ عن اتجاه ص ولنجعل ح رمزا الى قوة الرئيس الواقعة على نقطة ث ونجعل د رمزا الى مركز وقوع ص فيحدث لاجل توازن الدفة ح × اث = ص × اد

(بيان الرافعة التى من النوع الثانى)

قد سبق أن المقاومة فى الرافعة التى من هذا النوع تكون موجودة بين القوة ونقطة الارتكاز فلا تستعمل هذه الرافعة الا فى الاحوال التى تكون فيها القوة اصغر من المقاومة

ومن هذه الروافع المدارى والمجاذيف المستعملة لسير السفن الى الامام فتكون القوة واقعة على نقطة ن (شكل ٢١) التى هى مقبض المدرة المرموز اليها بن ن و م وشادة للمقبض المذكور من مؤخر السفينة الى مقدمها وتكون نقطة الارتكاز وهى م موجودة فى الطرف الآخر من المدرة وتكون المقاومة حاصلة من السفينة فى و التى هى نقطة من نقط حافة السفينة اما بواسطة ثقب فى هذه الحافة او مسمار رأسى يعرف بالاخريطم ومن البديهى انه اذا عين مركز مقاومة جزء المدرة المنغمس فى الماء كانت القوة مضروبة فى بعد هذا المركز عن مقبض المدرة مساوية للمقاومة مضروبة فى بعد المركز المذكور عن النقطة التى تكون فيها المدرة مستندة على حافة السفينة لان هذا المركز معتبر كنقطة الارتكاز

و يلزم تصبير الذراع الصغير بثقل ما حتى تكون الرافعة متوازنة تقريبا على نقطة و التى نقلت هى اليها بواسطة السفينة وذلك لئلا يزداد الشغل على الملاح بالاتكاء على هذا الذراع لاجل موازنة الذراع الكبير

(بيان الرافعة التى من النوع الثالث)

حيث ان القوة فى هذه الرافعة موجودة بين نقطة الارتكاز والمقاومة فانها بالضرورة تكون اكبر من المقاومة فلا تستعمل هذه الرافعة الا فى الاحوال التى تكون فيها القوة اكبر من المقاومة

ومن هذه الروافع الريشة وفرشة الرسم وقلم الجدول فيلزم أن يكون سن الريشة وقلم الجدول سريع الحركة لصغر المقاومة التى تعرض له على الورق ومن هنا يعلم الوضع الملايم لامساك هذه الآلات

فتكون ا التى هى نقطة ارتكاز ريشة ا ث (شكل ٢٢)
موجودة على العقدة الاولى من السبابة فتكون المقاومة حينئذ فى نقطة
ث من الورق الذى تحصل فيه الكتابة التى هى تأثير الرافعة وتكون القوة
مقسومة بين الابهام والسبابة والوسطى الى م و ن و و فاذا قلبت اليد
(شكل ٢٣) لتنظر سن الريشة ابصرت م و ن و و التى هى نقط
وقوع الاصابع المذكورة وكلما ازدادت قوة الاعصاب الواقعة على م و ن
او و لتنقص فى النقطتين الاخريين منها كانت الريشة مدفوعة الى جهات
متنوعة تلايم رسم سائر انواع الحروف والصور

وفى عملية الكتابة شاهدين على التركيب الحقيقى للآلات البسيطة فى الظاهر
فانك ترى وقت الكتابة الاصبعين الاخيرين من اليد اليمنى مسندا للريشة
و الساعد الايمن والذراع الايسر مسندا للجسم بتمامه وكل ذراع مع يده
يتركب من اثنتين وعشرين رافعة من النوع الاول وكل ساق مع رجله يتركب
من ثلاث وعشرين رافعة من ذلك النوع

ثم ان ارباب التآليف الذين لا يرتضون باستعمال الآلات المركبة فى الفنون
و يحرضون على تركها و يميلون الى الاصول الطبيعية يستعملون رافعة
اصطناعية متحركة بثلاث قوى متحصلة من مجموع تسعين رافعة موجودة
فى النوع البشرى من اصل الخلقة وهذه الروافع يدفعها او يجذبها بالتعاقب
مائة وثمانون طائفة من الاوتار المعروفة بالاعصاب التى منها ماهو مربوط
بنقطة الارتكاز من جهة الامام ومنها ماهو مربوط بها من جهة الخلف
وحيث كانت كثرة الاوتار والروافع لا توجب اختلالا ولا تعطيلا فى العمليات
التى يباشرها الانسان باعضائه سهل علينا ان نثبت ان هذا التركيب
العجيب يلزمه النباهة والاستعداد لاجراء عدة عمليات دقيقة ليست فى وسع
غيره من سائر الحيوانات التى هى دونه فى الاعصاب و الروافع بالنظر
لتركيبها

وفى الفنون ماهو نظير هذه الامور الطبيعية كالروافع والاوتار فان اذرعة الاشارات روافع متحركة بواسطة حبال كما أن اذرعة الانسان تتحرك بواسطة الاعصاب

فاذا اقتضى الحال تحصيل التوازن بين قوة صغيرة ومقاومة كبيرة لزم بواسطة استعمال رافعة واحدة وضع نقطة الارتكاز قريبة جدا من نقطة وقوع المقاومة وربما نشأ عن ذلك فى كثير من الاحوال موانع قوية تمنع من حصول المطلوب مع الصحة والضبط وقد يتدارك هذا الخلل باستعمال عدة روافع كالتى فى شكل ٢٤ وحيث ان قوة ح واقعة على طرف الذراع الاكبر من رافعة ب ا ث فان طرف الذراع الاكبر وهو ر من رافعة ثانية كرافعة ث د ه يكون موضوعا على نقطة ث التى هى طرف الذراع الاصغر وهو ل من الرافعة الاولى وقس على ذلك رافعة ثالثة كرافعة ه غ ش وهكذا

ولتكن س و سَ و سً الخ هى المقاومات الحاصلة على ث و ه و ش التى هى نقط تقاطع الروافع المتوالية ولتكن ل و لَ و لً الخ هى الاذرعة الكبرى من تلك الروافع و ل و لَ و لً الخ هى اذرعتها الصغرى فيحصل معنا شرط التوازن وهو فى الرافعة

الاولى ح × ل = س × ل

وفى الثانية س × لَ = سَ × لَ

وفى الثالثة سَ × لً = سً × لً

فاذا ضربنا اولا الحدود الاول من هذه المعادلات فى بعضها ثم الحدود الثوانى كذلك وطرحنا من الحاصلين الكميات المشتركة وهى س و سَ و سً الخ فحيث ان ر هى القوة الاخيرة اى المقاومة يكون شرط

التوازن

التوازن على وجه الاختصار هو

ح × ل × لَ × لً الخ = ر × ل × لَ × لً الخ

اعنى أن القوة مضروبة فى الاذرعة الكبرى من الرافعة تساوى المقاومة مضروبة فى الاذرعة الصغرى منها

ولنفرض مثلا أن الذراع الاكبر من الروافع يساوى الذراع الاصغر عشر مرات فاذا اخذنا بالتوالى رافعة واحدة او ٢ او ٣ او ٤ الخ ظهر أن المقاومة مساوية للقوة مضروبة فى ١٠ او ١٠٠ او ١٠٠٠ او ١٠٠٠٠ الخ وعلى ذلك فيكفى فى حصول التوازن بين قوة ومقاومة اكبر منها عشرة آلاف مرة اربع روافع تكون فيها نقطة الارتكاز اقرب الى المقاومة من القوة عشر مرات فقط

وفى انكلترة يستعملون عدة روافع كالمتقدمة فى (شكل ٢٤) فى قياس قوة القضبان المتخذة من الحديد

وتستعمل ايضا الروافع المتقدمة استعمالا بديعا فى اثبات ما يكون للقضبان المعدنية من الامتداد عند تعريضها للحرارة وهذا الامتداد الدقيق جدا الذى لا يدركه النظر يلزم ضربه فى عشرة آلاف مع الروافع الاربع المذكورة اذا كان الذراع الاكبر من الرافعة الاخيرة عقرب مبينا لانه يكون حينئذ سريع الحركة فيمكن اذن بواسطة تقسيم القوس الذى يقطعه هذا العقرب الحكم على ما يكون للقضيب المعدنى من الامتداد وبهذه الكيفية يمكن أن نعين مع الضبط نسب امتداد الحديد والصلب والنحاس وهى نسب يستفيد منها الساعاتية وتعود عليهم بالمنفعة

(راجع بندولات التعديل المتقدمة فى الدرس السابع)

(الدرس التاسع)

(فى بيان البكرات والملفات)

البكرة من حيث هى (شكل ١) تتركب من ثلاثة اجزاء احدها قرص مستدير

محيطه ثم ميزابي عميق من سائر جهاته لاجل ادخال الحبل وثانيها محور يدور عليه القرص وثالثها حمالة لحمالة ا ب ش د مثلا هي جسم يوجد به ثقب م ن الذي يدور فيه القرص وفيه ثقب آخر وهو ط ط مستدير عمودي على م ن المذكور معد لدخول محور البكرة فيه

وفي البكرة الثابتة (شكل ٢) تكون الحمالة ثابتة ومربوطة بنقطة ثابتة فرضا او تحقيقا كنقطة س وكذلك يلزم أن يكون المحور ثابتا والافلابد من أن يكون بعده عن نقطة س لايتغير وأن تكون قوة ح مؤثرة في احد طرفي ح ام ب خ ومقاومة خ ثابتة في الطرف الآخر منه فاذا اثرت القوة في المقاومة فانها تشد الحبل حتى يظهر منه جزآن مستقيمان لجزءي ا ح و ب خ احدهما وهو ا ح واصل من البكرة الى القوة والآخر من البكرة الى المقاومة ويظهر منه ايضا جزء على صورة منحني ا م ب يلتف على محيط حلق البكرة وهو اقصر خط يمكن رسمه بين نقطتي ا و ب على سطح هذا الحلق وقد سبق ايضاح خواص هذا السطح في الدرس الخامس عشر من الجزء الاول من هذا الكتاب

فاذا كانت قوتا ح و خ في مستو رأسي كان هذا المستوى ايضا مستويا للمنحني ا م ب ولايمكن أن تكون هاتان القوتان متوازنتين بالنسبة لنقطة س الثابتة الا في صورة ما اذا كانت النقطة موجودة في مستوى القوة والمقاومة الرأسي

وكما ان البكرة الثابتة تستعمل في رفع الدلاء من الآبار وكذلك فيما يستخرج من المعادن تستعمل ايضا في تحصيل القوة والمقاومة ونقطة الارتكاز الموضوعة كلها في مستو رأسي واحد يتجه عليه طرف الحبل المرموز اليه برمز ب خ المربوط به المقاومة التي هي كناية عن ثقل معلق بحبل ب خ يراد رفعه

وفي الصورة

وفي الصورة المستثناة اذا لم يكن ا ح وهو اتجاه جزء الحبل المربوط فيه القوة رأسيا يكون ذلك الحبل على صورة منحن يعرف بالسلسلة كما تقدم وقد سبق ايضاح خواصها في الدرس السادس من هذا الجزء

وحيث ان الحبل فيما عدا هذه الصورة يكون ملفوفا على حلق البكرة فلا بد أن تكون شروط توازن هذا الحبل هي عين الشروط المذكورة في الدرس الرابع المعقود لتوازن الحبل المنثني على السطح والمشدود من طرفيه بالقوى فعلى ذلك يكون الشد الحاصل للحبل المذكور في جميع نقطه وهي ا و م و ب التي على محيط البكرة باقيا على حالة واحدة فاذا كانت القوة حينئذ واقعة على نقطة ا مباشرة والمقاومة واقعة على نقطة ب مباشرة ايضا لزم أن تكون هاتان القوتان متساويتين مهما كان اتجاههما

فاذا لم تكن القوتان المذكورتان واقعتين مباشرة على هاتين النقطتين بل كانتا واقعتين على بعد واحد من بعضهما وقطعنا النظر عن ثقل الحبل لزم أن تكونا متساويتين ايضا بخلاف ما اذا لم نقطع النظر عنه بل اضفناه من جهة الى القوة ومن اخرى الى المقاومة فيلزم أن يكون المجموعان متساويين ليكون التوازن حاصلا حول محور البكرة

وهذا مما لا بد منه في رفع الاحمال الى ارتفاعات عظيمة وكلما ازداد تأثير القوة هبطت مع الحبل الذي تشده واكتسبت من ثقله جزأ مساويا بالضبط للجزء المطروح من جهة المقاومة وبناء على ذلك اذا كبرت القوة فانها تحدث للمقاومة تحركا الى اعلى يعظم شيأ فشيأ حتى يكون خطرا

ولاجل تحصيل فاضل واحد بين القوة والمقاومة نستعمل سلسلة تعديل كسلسلة خ ن و المربوط بها حمل خ المطلوب رفعه رأسيا ولنفرض أن هذه السلسلة والحبل المربوط به القوة والمقاومة متساويان في الطول الا أن السلسلة تكون ضعفه في الثقل فاذا شدت قوة ح الحبل

حتى نقلته الى $\overline{حَ}$ فان جزء $\overline{اب}$ يزداد بقدر $\overline{ححَ}$ وجزء $\overline{بخ}$ ينقص بقدر $\overline{خخَ}$ وذلك ناشئ عن عدم نقصان شئ من مقاومة $خ$ وعن اكتساب قوة $ح$ ضعف ثقل جزء حبل $\overline{ححَ}$ وحيث ان مقاومة $\overline{خ}$ المذكورة ارتفعت بقدر $\overline{خخَ} = \overline{ححَ}$ فان جزء سلسلة التعديل وهو $\overline{ننَ}$ الموضوع على مسطح افقى يرتفع ويصير رأسيا وينقل من جهة المقاومة لكن حيث كان $\overline{ننَ}$ مساويا فى الطول لكل من $\overline{ححَ}$ و $\overline{خخَ}$ كان ضعف كل منهما فى الثقل فاذن تكتسب قوة $ح$ من جهة ضعف ثقل $\overline{ححَ}$ وتكتسب مقاومة $خ$ من جهة اخرى ضعف هذا الثقل وبناء على ذلك يكون دائما بين القوة والمقاومة فاضل واحد وذلك نتيجة مهمة فى كثير من الصور

فاذا كان حبلا $\overline{اح}$ و $\overline{بخ}$ (شكل ٢) متوازيين كانت محصلة قوتى $\overline{ح}$ و $\overline{خ}$ المتساويتين موازية لاتجاهى $\overline{اح}$ و $\overline{بخ}$ ومارة بمحور القرص واذا لم تكن قوتا $ح$ و $خ$ المذكورتان (شكل ٤) متوازيتين لزم أن تكون محصلتهما مارة دائما بمحور القرص وهو $\overline{ث}$ وبنقطة التعليق وهى $\overline{س}$ ولا يمنع ذلك من بقاء هاتين القوتين على التساوى واذا مددنا اتجاهى $\overline{اح}$ و $\overline{بخ}$ حتى تقاطعا فى نقطة $د$ لزم أن تكون نقط $\overline{ث}$ و $\overline{س}$ و $\overline{د}$ الثلاثة على مستقيم واحد ويحدث من هذا المستقيم مع $\overline{اح}$ و $\overline{بخ}$ اللذين هما اتجاها القوة والمقاومة زاوية واحدة

واذا اريد معرفة الضغط الحاصل من قوتى ح و خ على ث الذى هو محور القرص فاننا نعين محصلة دش من متوازى الاضلاع وهو ده ش ف الذى يدل ضلعاه المتساويان وهما ده , دف على القوة والمقاومة وذلك أن وتر دش هو محصلة القوتين المتجهتين على دس ث اعنى الضغط الحاصل على محور القرص
وباضافة هذا الضغط الى ثقل البكرة ينشأ الجهد الكلى الواقع على نقطة الارتكاز وهى س
وحيث كانت القوة فى البكرة الثابتة مساوية دائما للمقاومة كان لا يمكن استعمال هذه الآلة الا فى تحويل قوة من اتجاه الى آخر بدون أن يتغير مقدارها ولذا كانت البكرات المستعملة فى ذلك تسمى باسم يلائمها وهو بكرات الرد لان الغرض منها ليس الا رد القوة من اتجاه الى آخر

فاذا لم تكن قوتا ح و خ متساويتين فان صغراهما تعدم من كبراهما جزأ بقدرها و يتحرك حينئذ قرص البكرة فى جهة كبراهما بفاضل القوتين غير أن الضغط الحاصل من القرص او المحور على الحالة يكون مساويا لمحصلة قوتين مفروض مساواة كل منهما للقوة الصغرى وعلى ذلك فيمكن أن يكون تحرك البكرة بطيئا جدا وان كان الضغط الحاصل على المحور عظيما جدا و يكفى لذلك أن تكون القوة والمقاومة كبيرتين جدا لكن يكون بينهما اختلاف قليل وهذه هى قاعدة الآلة التى اخترعها المهندس اوود ليثبت بالتجربة قوانين سقوط الاجسام التى تقدم ذكرها فى الدرس الثانى من هذا الجزء

ولنمد نصفى قطر ثا , ثب (شكل ٤) عمودين على اتجاهى اح و بخ فيكون مستقيم اب عمودا على ثش د

الذى يقسم زاوية $\overline{\text{اثب}}$ الى جزءين متساويين فاذن تكون اضلاع مثلثى $\overline{\text{دهش}}$ و $\overline{\text{اثب}}$ متقابلة وعمودية على بعضها ومن ذلك يحدث هذا التناسب وهو

$$\overline{\text{ح}} = \overline{\text{خ}} : \overline{\text{ر}} :: \overline{\text{ده}} = \overline{\text{دف}} : \overline{\text{دش}} :: \overline{\text{اث}} = \overline{\text{ثب}} : \overline{\text{اب}}$$

وبناء على ذلك تكون فى البكرة الثابتة نسبة القوة المساوية للمقاومة الى ضغط $\overline{\text{ر}}$ الحاصل على نقطة الارتكاز كنسبة نصف قطر القرص الى وتر $\overline{\text{اب}}$ الحاصر لقوس $\overline{\text{اب}}$ المحاط بجزء من الحبل الملفوف على القرص

(بيان البكر المتحرك)

اذا ابدلنا فى البكر الثابت (شكل ٢ و ٤) النقطة الثابتة بقوة $\overline{\text{ر}}$ المساوية للجهد الحادث على هذه النقطة من تأثير $\overline{\text{ح}}$ و $\overline{\text{خ}}$ كان التوازن باقيا على حاله بين القوى الثلاثة وهى $\overline{\text{ح}}$ و $\overline{\text{خ}}$ و $\overline{\text{ر}}$ وانما يتغير البكر الثابت بالبكر المتحرك (شكل ٣ و ٥) فيحدث اذن فى البكر المتحرك من قوتى $\overline{\text{ح}}$ و $\overline{\text{خ}}$ الواقعتين على طرفى الحبل المار بالقرص ومن قوة $\overline{\text{ر}}$ الواقعة على الحمالة هذان التناسبان وهما

$$\overline{\text{ح}} = \overline{\text{خ}} : \overline{\text{ر}} :: \overline{\text{ده}} = \overline{\text{دف}} : \overline{\text{دش}}$$

$$\text{و}\quad \overline{\text{ح}} = \overline{\text{خ}} : \overline{\text{ر}} :: \overline{\text{ثا}} = \overline{\text{ثب}} : \overline{\text{اب}}$$

وتبدل فى العادة احدى قوتى $\overline{\text{ح}} = \overline{\text{خ}}$ بنقطة ثابتة كنقطة $\overline{\text{خ}}$ فتكفى حينئذ قوة $\overline{\text{ح}}$ فى موازنة مقاومة $\overline{\text{ر}}$ وقد يعبر عن التناسب الاخير بهذه العبارة فيقال

ان نسبة القوة الى المقاومة فى البكر المتحرك كنسبة نصف قطر القرص الى

الوتر

الوتر الحاصر لقوس $\overline{اب}$ المحاط بجزء من الحبل الملفوف على القرص ولهذه النسبة فائدة وهى أنه بموجبها يستغنى عن تركيب متوازى الاضلاع للقوى لانها تتعلق باصول هندسية مستعملة كثيرا ومعلومة الحساب فى جداول مطبوعة تعرف باسم الجداول اللوغاريتمية والجيبية

ومتى كانت قوتا $\overline{ح}$ و $\overline{خ}$ متجهتين بالتوازى (شكل ٣) لزم أن تكون مقاومة $\overline{ر}$ متجهة مثلهما وزيادة على ذلك تكون مساوية لمجموعهما وهو $\overline{ح} + \overline{خ}$ وهذا هو اعظم تأثير يمكن حصوله من هاتين القوتين بواسطة البكرة المتحركة لاجل شد الحمالة

وكلما كانت الزاوية الحادثة من اتجاهى $\overline{اح}$ و $\overline{بخ}$ (شكل ٥) منفرجة نقص وتر $\overline{دش}$ ولزم أن تكون مقاومة $\overline{ر}$ صغيرة اذا كانت قوة $\overline{ح} = \overline{خ}$ محدودة ولزم ايضا أن تكون قوة $\overline{ح}$ كبيرة اذا كانت $\overline{ر}$ محدودة

وقد سبق أنه يلزم عوضا عن استعمال قوتى $\overline{ح}$ و $\overline{خ}$ للتوازن مع قوة ثالثة كقوة $\overline{ر}$ (شكل ٣ و ٥) أن نربط غالبا احد حبلى $\overline{اح}$ او $\overline{بخ}$ فى نقطة ثابتة تكون متحملة للجهد الذى تحمله قوة $\overline{خ}$ التى يمكن توفيرها

مثلا فى صورة ما اذا كان الحبلان متوازيين (شكل ٣) تكون قوتا $\overline{ح}$ و $\overline{خ}$ متساويتين فيكفى فى حصول التوازن بين قوة $\overline{ر} = \overline{ح} + \overline{خ} = ٢ \overline{ح}$ أن نستعمل قوة $\overline{ح}$ وحدها فيتوفر حينئذ النصف من استعمال القوة فى تحصيل التوازن وهذا كما رأيت فى تحصيل

التوازن دون تحصيل التحرك لان تحصيل التحرك لاوفر فيه

ولنفرض حينئذ فى زمن معلوم أن نقطة خ تكون باقية على ثباتها وأن نقطة ح تسير بقدر كمية ح ع فينتقل قرص البكرة من ام ب الى ام ب ولا يتغير طول الحبل ويلزم أن يكون خ ب م ا ح = خ ب م ا ح فاذا طرحنا من الحبلين طولى ام ب و ام ب المتساويين وطولى خ ب و ح ا المشتركين بقى هذا التساوى وهو

ح ع = ا ا + ب ب = ٢ ث ث

ولكن ث ث يساوى الكمية التى تتقدم بها ر الى ث فاذا لم تكن قوة ح الا نصف ر لزم أنها تقطع ضعف المسافة التى تقطعها ر وحينئذ اذا ضربنا كلتا هاتين القوتين فى المسافة التى قطعتها فى زمن معلوم كان الحاصل واحدا وهو

ح × ح ع = ر × ر ر

ثم ان مسافتى ح ح و ر ر الصغيرتين يدلان على السرعتين المنبهتين لقوتى ح و ر وماذكرناه من التساوى يتضمن قاعدة تتعلق بالسرعة المنبهة وهى جارية فى سائر الآلات بسيطة كانت اومركبة وفى جميع ذلك ترى أنه اذا امكن بواسطة نقط الارتكاز حصول التوازن بين القوى الكبيرة والقوى الصغيرة عند وجود التحرك فان التعديل الحاصل بين القوى والمسافات المقطوعة يكون على وجه بحيث لاتزداد به كميات التحرك اصلا وفى الغالب تختلط البكرة الثابتة بالبكرة المتحركة كما تراه فى شكل ٦

وبهذه الكيفية تعلق المصابيح المعدة للتنوير

وحبل ح ا ح ا ب خ يمر حول بكرة ا ث الثابتة ثم يمر حول

بكرة $\overline{\text{اب ث}}$ المتحركة التي يعلق بها ثقل ر ثم ربط في نقطة خ الثابتة

وليكن حَ هو الشد او الجهد الحاصل للحبل المشدود بقوة ح فلاجل أن يكون توازن البكر الثابت باقيا على حالة واحدة يلزم أن يكون حَ = ح ثم لاجل بقاء توازن البكرة المتحركة على حالة واحدة يلزم عند مد وتر اب في القرص من نقطتي ا و ب اللتين يتقطع فيهما مس الحبل لهذا القرص تحصيل هذا التناسب وهو

$$\text{ح} = \text{حَ} : \text{ر} :: \text{اث} : \text{اب}$$

وهو شرط بسيط

فاذا فرضنا (شكل ٧) أن هناك عدة بكرات متحركة مختلطة ببعضها كان اولا حبل البكرة الاولى وهو خ اب ح ثَ مربوطا في نقطة خ الثابتة وفي نقطة ثَ التي هي مركز البكرة الثانية وثانيا يكون حبل البكرة الثانية وهو خَ اَبَ حَ ثً مربوطا في نقطة خَ الثابتة وفي نقطة ثً التي هي مركز البكرة الثالثة وهلم جرا

فاذا كانت ح و حَ و حً الخ هي الشدود الحاصلة من حبال ب ح و بَ حَ و بً حً الخ حدثت هذه المعادلات وهي

$$\frac{\text{ر}}{\text{ح}} = \frac{\text{اب}}{\text{اث}}$$

$$\text{و} \quad \frac{\text{ح}}{\text{حَ}} = \frac{\text{اَبَ}}{\text{اَثَ}}$$

$$\frac{\text{ح}'}{\text{ح}''} = \frac{\text{أ}''\text{ب}''}{\text{أ}''\text{ث}''} \text{ الخ}$$

فاذن يكون

$$\frac{\overline{\text{ر}}}{\text{ح}} \times \frac{\text{ح}}{\text{ح}'} \times \frac{\text{ح}'}{\text{ح}''} \text{ الخ} = \frac{\text{اب} \times \text{أ}'\text{ب}' \times \text{أ}''\text{ب}'' \times \text{الخ}}{\text{اث} \times \text{أ}'\text{ث}' \times \text{أ}''\text{ث}'' \times \text{الخ}}$$

ولننبه على أنه اذا قسمنا $\overline{\text{ر}}$ على $\overline{\text{ح}}$ ثم ضربنا خارج القسمة فى $\overline{\text{ح}}$ تحصل معنا عدد $\overline{\text{ر}}$ واذا قسمنا هذا العدد على $\text{ح}'$ و $\text{ح}''$ الخ ثم ضربناه فى $\overline{\text{ح}'}$ و $\overline{\text{ح}''}$ الخ تحصل معنا هـذا العدد بعينه فاذن لا يبقى معنا الا كون مقاومة $\overline{\text{ر}}$ المقسومة على القوة الاخيرة وهى $\overline{\text{ح}^{م}}$ تساوى حاصل ضرب سائر النسب فى بعضها وهى

$$\frac{\text{اب}}{\text{اث}} \times \frac{\text{أ}'\text{ب}'}{\text{أ}'\text{ث}'} \times \frac{\text{أ}''\text{ب}''}{\text{أ}''\text{ث}''} \text{ الخ}$$

وهذه الحسابات كما ترى مختصرة جدا فاذا كان وضع البكرات معلوما كانت نسب $\frac{\text{اب}}{\text{اث}}$ و $\frac{\text{أ}'\text{ب}'}{\text{أ}'\text{ث}'}$ و $\frac{\text{أ}''\text{ب}''}{\text{أ}''\text{ث}''}$ الخ معلومة ايضا ويمكن حينئذ أن نعين القوة التى لابدّ منها فى موازنة مقاومة معلومة والمقاومة التى لابدّ منها فى موازنة قوة معينة

ومتى كانت سائر القوى متوازية (شكل ٨) كانت حبال $\overline{\text{اب}}$ و $\overline{\text{أ}'\text{ب}'}$ و $\overline{\text{أ}''\text{ب}''}$ الخ اقطار الاقراص $\overline{\text{اب ث}}$ و $\overline{\text{أ}'\text{ب}'\text{ث}'}$

و $\overline{أ'ث''}$ الخ فعلى ذلك تكون هـذه الحبال ضعف انصاف اقطار

$\overline{اث}$ و $\overline{أث'}$ و $\overline{أث''}$ الخ فاذن تكون $\frac{ر}{ح م} = ٢ \times ٢ \times ٢$ الخ

يعنى ان عامل ٢ يتكرر بقدر ما يوجد من البكرات المتحركة

فاذا بحثنا فى حالة التحرك عن نسبة المسافات التى قطعتها القوة والمقاومة وجدنا المسافة التى قطعتها مقاومة $\overline{ر}$ نصف المسافة التى قطعتها قوة $\overline{ح}$ وهى على النصف من المسافة التى قطعتها قوة $ح'$ وهى ايضا على النصف من المسافة التى قطعتها قوة $ح''$ وهكذا وحينئذ تكون نسبة مسافتى

$\overline{ه}$ و $\overline{هـ}$ اللتين قطعتهما قوة $ح م$ ومقاومة $\overline{ر}$ هى .

$$\frac{ه}{هـ} = \frac{١}{٢} \times \frac{١}{٢} \times \frac{١}{٢} \text{ الخ}$$

وهذه الانصاف تتكرر بقدر ما يوجد من العوامل التى هى

$$٢ \times ٢ \times ٢ \times \text{الخ} = \frac{ر}{ح م}$$

وهذه هى النسبة الحاصلة بين المقاومة والقوة ثم اذا ضربنا هذين المقدارين فى بعضهما حدث

$$\frac{ر \times ه}{ح م \times هـ} = \frac{١}{٢} \, ٢ \times \frac{١}{٢} \, ٢ \times \frac{١}{٢} \, ٢ \text{ الخ}$$ بقدر ما يوجد من البكرات المتحركة

وحيث ان $\frac{١}{٢} \, ٢ = ١$ يحدث حينئذ $\frac{ر \times ه}{ح م \times هـ} = ١$

وذلك يقتضى أن مقاومة $\overline{ر}$ مضروبة فى مسافة $\overline{ه}$ التى قطعتها فى زمن ما

تساوى قوة ح م مضروبة فى مسافة هـ التى يلزم أن تقطعها فى الزمن المذكور عند عروض الاختلال للتوازن على حين غفلة لاجل تحرك الآلة (وهذا من شواهد قاعدة السرعة المنبهة) ويستعمل غالبا فى الفنون البكرات التى لها حبال متوازية تقريبا وهى عدة اقراص ثابتة مثل ١ و ٢ و ٣ الخ (شكل ٩) و (شكل ١٠) موضوعة على حمالة ثابتة وعدة اقراص متحركة مثل ا و ب و ج موضوعة على حمالة متحركة ومثل هذه الحمالات يعرف بالعيار او البالنك

وحيث ان الحبل يمر بالتوالى على ١ و ا و ٢ و ب و ٣ و ج فاذا كانت حبال ب و اا و بب و اا و بب الخ متوازية كان الشد الحادث لكل منها مساويا للمقاومة مقسومة على عدد الحبال المذكورة وينبغى أن لا نعد اخراجنا آت حبل ا ح لانه لما كان تأثيره مقصورا على البكر الثابت كان لا يغير التوازن فى شىء فاذن يمكن ابدال ح بمساويتها وهى ح المتجهة على امتداد ب ب وحينئذ يختفى حبل ا ح

وبناء على ذلك ينبغى أن لا نعد من الحبال الا ما كان مبدؤه البكرات المتحركة مباشرة بمعنى اننا نعد لكل بكرة متحركة حبلين اذا كان مبدء الحبل الحمالة الثابتة (شكل ٩) وحبلا واحدا اذا كان مبدؤه الحمالة المتحركة (شكل ١٠) وهذه الحبال على العموم متوازية تقريبا وربما اعتبرت فى العمل متوازية بدون خطاء بين فاذا كان هنالك عدد غير محدود من البكرات المتحركة كعدد م فانه يتحصل من الحبال ٢م فى الصورة الاولى و ٢م + ١ فى الصورة الثانية وهذه الحبال تكون بالسوية حاملة

للجهد

للجهد الحادث من محصلة $\overline{ر}$ وكل منها يتحمل $\frac{ر}{٢م}$ وهو جزء من الجهد

او $\frac{ر}{٢م+١}$ وهو جزء منه ايضا لكن $\overline{ح} = \overline{حَ}$ هو شدّ $\overline{ب ـ}$

فاذن تكون قوّة $\overline{ح}$ مساوية لمقاومة $\overline{ر}$ مقسومة على ضعف عدد البكرات المتحركة (شكل ٩) وعلى ضعف هذا العدد زائدا واحدا (شكل ١٠)

وفى هذه الصورة كالتى قبلها تسهل البرهنة على أنه اذا تحركت الآلة قليلا كانت نسبة المسافتين اللتين قطعتهما القوّة والمقاومة فى زمن واحد كعكس نسبة هذه الاعداد

وذلك لانه متى هبط $\overline{شر}$ بكمية مّا لزم أن تكون ابعاد $\overline{بـ}$ و $\overline{بَـَ}$ و $\overline{بًـً}$ الخ و $\overline{اَاَ}$ و $\overline{اًاً}$ الخ متزايدة على حسب اطوال الهبوط فاذن يكون الطول الكلى للحبال من $\overline{٦}$ الى $\overline{ثً}$ الخ متزايدا بقدر عدد الحبال ويلزم حينئذ أن يكون حبل $\overline{اح}$ المعلوم هو الذى احدث هذا الطول فتقطع $\overline{ح}$ مسافة ذلك الطول فعلى ذلك اذا كان ٢م (شكل ٩) هو عدد الحبال فان نسبة مسافة $\overline{رر}$ التى قطعتها $\overline{ر}$ الى مسافة $\overline{حح}$ التى قطعتها $\overline{ح}$ :: ١ : ٢م.

لكن $\overline{ر}$: $\overline{ح}$ :: ٢م : ١ فاذن تكون قوّة $\overline{ر}$ مضروبة فى المسافة التى قطعتها $\overline{ر}$ تساوى قوّة $\overline{ح}$ مضروبة فى المسافة التى قطعتها $\overline{ح}$ الخ ويبرهن ايضا على هذه القاعدة بشكل ١٠

وثم نوعان من البكرات المركبة المعروفة عند العامة بالعيارات احدهما (شكل ٩ و ١٠) مركب من عدة اقراص بكرات موضوعة على محاور متفرقة مارة بحمالة واحدة وثانيهما مركب (شكل ١١ و ١٢) من عدة اقراص بكرات موضوعة على محور واحد مار بحمالة واحدة وهذه

الاقراص متفرقة عن بعضها بفواصل ثابتة معتبرة كالجزء من الجمالة
ولكل من النوعين المذكورين منافع ومضار ففي النوع الاول تكون
اقراص كل عيار في مستو واحد مع الحبل الذي يمر بالتوالي من عيار
الى آخر
وفي النوع الثاني يتغير مستوى هذا الحبل لاجل مروره من عيار الى آخر
بحيث ان جميع اجزائه الموجودة في احدى جهتي العيارين وان كانت متوازية
لا تكون موازية لجميع اجزائه الموجودة في الجهة الاخرى ولهذا الخلل
الناشئ عن التوازي مضرة هي ميل الاقراص بالنسبة لمحاورها وذلك
يؤدي الى تغير عينها وربما تغيرت المحاور ايضا بسبب زيادة الاحتكاك
ولا يكون هذا الضرر بينا متى كان العياران على بعد عظيم من بعضهما
بالنسبة لتباعد الاقراص عن بعضها على محور واحد بخلاف ما اذا قربا من
بعضهما فان الخلل الناشئ عن التوازي يزداد ويحدث عنه مقاومات غير
لائقة
وفي هذه الصورة تكون منفعة الاقراص الموضوعة على محور واحد دون
منفعة الاقراص الموضوعة في جمالة واحدة على محاور مختلفة
ولكن الاقراص في الصورة الثانية تشغل من المحال اكثر مما تشغله في الصورة
الاولى فاذا كان المطلوب مثلا رفع احمال لزم لذلك آلة تكون فيها نقطة تعليق
العيارين مرتفعة عن المحل الذي يرتفع منه الحمل وهذا الارتفاع يكون
بالاقل قدر الطول الكلي للعيارين وربما عظم هذا الطول اذا كانت
كلتا الجمالتين محتوية على ثلاثة اقراص او اربعة وقد يعظم هذا الضرر
لاسيما اذا وصلنا الى اعلى طبقات المنزل وكان المطلوب رفع الاحجار اليها * وعلى
الميكانيكي أن يختار من النوعين ما تقتضيه الاحوال
فاذا كان الغرض من العيارات التوصل بها الى ظهور مقاومة كبيرة على
قوة صغيرة وغلبتها لها لزم أن يكون لها حبال كبيرة فبذلك تقطع القوة
مسافة كبيرة حتى تقطع المقاومة مسافة صغيرة وهذا هو التعديل العام الذي
هو كناية عن قاعدة تستنبط من تحرك سائر الآلات

بيان

(بيان التثاقل في البكرات)

اذا اعتبرنا البكرات اجساما ثقيلة واريد تحصيل مقدار الجهد الواقع على نقطة
خ الثابتة (شكل ٥) المتعلق بها البكرة المفروض تحركها في الفراغ
بلا معارض فانه يلزم اخذ المحصلة العمومية لقوة ح ومقاومة ر
وثقل حبل ح ا ب خ والبكرة بتمامها فاذا كانت م هي ثقل البكرة
بتمامها و ه ثقل الحبل حدث اربع قوى وهي م و ه و ح و خ
تكون محصلتها مساوية ومضادة لمقاومة ر لاجل حصول التوازن
ثم اذا لاحظنا ما يمر حول ث الذي هو محور البكرة وجدنا هذا المحور
يتحمل اولا جهد ح و خ وثانيا ثقل قرص البكرة وثالثا ثقل
حبلي ح ا و ب خ في صورة ما اذا كانت القوة تؤثر من اعلى الى اسفل
كما في شكل ٤ وحينئذ اذا كان مَ هو ثقل القرص الذي يكون مركزه
في ث لزم أن يكون لقوى مَ و ه و ح و خ محصلة كلية
مارة بمحور ث ومساوية للضغط الحاصل من القرص على المحور

ومما يسهل مشاهدته أن ثقل القرص لا يغير شيأ من نسب ح و خ
بالنظر للتوازن لكن كلما كان هذا الثقل عظيما كان متعبا للمحور ونشأ عنه
احتكاكات فيلزم أن يكون ثقل القرص صغيرا مهما امكن متى كان الغرض
أن البكرة تؤثر تأثيرا عظيما ما امكن
واما الحبل (شكل ٤) فانه في صورة ما اذا كان ثقله محمولا على المحور يكون
حمل هذا المحور قليلا بقدر ما يكون ذلك الحبل خفيفا .
وما ذكرناه في هذا الشأن له اهمية عظيمة في استعمال الحبال والبكرات
في جوانب السفن واذا قطعنا النظر عما يتحصل من الوفر العظيم في كمية
ما يستعمل من المواد في اقراص البكرات والحبال المارة بها يلزم لغلبة

المقاومة والظهور عليها بقوة اصغر منها أن تكون الحبال والاقراص خفيفة جدا

واذا كان المطلوب عمل اقراص معدنية خفيفة جدا لزم مزيد الاهتمام فى تجويفهما من بين الحلق والمحور بواسطة تصاليب متفرقة كتصاليب عجلات العربات اوفواصل رقيقة تجمع بين الحلق ومركز الدولاب كما فى شكل ١٣

فاذا تحركت البكرة (شكل ٥) كان الجزء الاول من القوة وهو ح موازنا لسائر المقاومات والجزء الثانى منها وهو خ محركا للحبل والقرص ومقاومة ر بكمية يدل تأثيرها على جميع ما لم تعدمه مقاومات الآلة ولكن هذه الكمية تقاس اولا بالمسافة التى قطعها خ وثانيا بمجموع حواصل ضرب ثقل الحبل فى المسافة التى قطعها هذا الحبل فى جهة طوله وثالثا بمجموع حواصل ضرب ثقل كل جزء من القرص فى المسافة التى قطعها هذا الجزء فحينئذ يلزم تعيين هذا الجزء الثالث

واذا قسمنا القرص الى مناطق متساوية العرض وجدنا ثقلها مناسبا بالضبط لانصاف اقطارها فاذا قطعنا قرصين متحدى السمك ومختلفى القطر كان حجم كل منهما مناسبا لمربع قطريهما واذا قسمنا هاتين الدائرتين (اعنى القرصين) الى اجزاء صغيرة حجومها على نسبة واحدة وفى اوضاع متشابهة كان مربع بعد المحور عن الاجزاء المتقابلة الموجودة فى القرصين مناسبا لمربع نصفى قطريهما فاذن يصير حاصل ضرب حجم كل جزء فى بعده عن المحور مناسبا لمربع القطر مضروبا فى القطر نفسه اعنى انه يكون مناسبا لمكعب قطر هذين القرصين وعلى ذلك فتكون كمية التحرك الحادثة فى كل من القرصين مناسبة لمكعب قطره وهذا بالنظر الى سرعتهما المنزوية فاذا زادت تلك النسبة كثيرا مع قطر القرصين لزم جعل الاقراص فى البكرات الكبيرة صغيرة الحجم ما امكن وهذه الفائدة يمكن تحصيلها من استعمال الحبال التى ليس لها بالنظر الى قوة مفروضة الاقطر صغير قليلا لمزيد جودتها وبالجملة فيكفى أن يكون عرض

القرص

القرص اقل من قطر الحبال لئلا تبلى تلك الحبال من احتكاكها بجوانب الثقب الذى هو محل القرص فى صندوق البكرة

فاذا استعملنا من الحبال ما لا مقاومة له اصلا عند الانثناء على حلق البكرة فكلما كان قطر القرص صغيرا اقل أن توجد قوة معدومة لاجل الظهور على اينرسى هذا القرص عند تحريك القوة للمقاومة غير أن شد الحبال مقاومة عظيمة يلزم الاهتمام بتقويمها ومعرفة مقدارها

وسيأتى أن كلب الذى هو من مشاهير علماء الطبيعة عين المقاومة التى تعرض لتحرك البكرات من شد الحبال

ثم ان شوحية ١١َ (شكل ١٤) تحمل اولا سطح ححَ الكبير بواسطة حبل الاختبار وهو ثثَ الذى يدور مرة من جهتى اليمين والشمال على ملف ببَ المتحرك وتحمل ثانيا سطح خَ الصغير بواسطة حبل ثثَ الصغير الذى يدور مرتين اوثلاثا على ملف ببَ فى جهة مقابلة لجهة ثثَ وينبغى الاهتمام بمنع الحبال عن مماسة بعضها ليحصل التأثير على وجه سهل ،

وقد يميل ملف ببَ الى الهبوط بسبب التأثير الناشئ اولا عن ثقله الاصلى مع ذراع رافعة يساوى نصف قطر ذلك الملف وثانيا عن ثقل سطح خَ مع ذراع رافعة يساوى قطر للملف المذكور فيكرع حينئذ اضافة نصف ثقل الملف الى ثقل حمل خَ لاجل تحصيل قوة واحدة تؤثر بواسطة ذراع رافعة يساوى قطر الملف فاذا كان ثقل الملف كبيرا نقص تاثيره بثقل ح المربوط فى طرف حبل ثثَ المار ببكرة الرد وهى ر وكل وحدة من ثقل ح توازن وحدتين من ثقل الملف

وقبل اختبار حبل ثثَ المراد قياس شده يرتخى حتى يكون تقريبا كالحبال المستعملة عادة فى الآلات ونمر بحبل ثثَ من فوق حلق البكرة ونربط فى احد طرفيه ثقلا كافيا ثم يشد اناس طرفه الآخر فيرفعون

هذا الثقل او يخفضونه فبذلك يزول مايوجد من الخلل فى شد الحبال الجديدة التى تمنع من حصول النتائج المطلوبة

فاذا احترسنا بهذه الاحتراسات فى منع الخلل عرفنا ثقل خ الذى لابد منه لهبوط ملف ب ب ولظفر بمقاومة حبل ث ث ورأينا أنه بواسطة شدود عظيمة تكون تقريبا القوة اللازمة لثنى الحبال على الاسطوانات المختلفة القطر اولا على نسبة مطردة بالنظر لشدود الحبال ومنعكسة بالنظر لقطر الملفات وثانيا تكون على نسبة مطردة بالنظر لمربع قطر الحبال وهذه النسبة تقرب من الصحة بقدر غلظ الحبال

(والمقاومة الحادثة عن شد الحبال مركبة من جزئين احدهما ثابت والآخر آخذ فى الزيادة بالنسبة للعمل ولا يمكن أن تكون الكمية الثابتة منسوبة الا الى الدرجات المختلفة التى تكون لشد الحبال والتوائها العارض لها عند عملها ويكون كل من فروع الحبل مشدودا بقوة على حدته ومحافظا على درجة شده عند التواء هذا الحبل لان تلك الفروع المتلاصقة والمتعشقة ببعضها متماسكة بالاحتكاك وعلى ذلك فكل فرع من حبل مربوط به ثقل يكون مشدودا بنسبة تلايم مايخصه من الثقل ومايعرض له من الالتواء عند لى الحبل لكن اذا كانت القوى اللازمة لثنى الحبل مناسبة للشدود كانت تلك القوى مناسبة لكمية ثابتة زيادة على الثقل المربوط بالحبل وهذه الكمية الثابتة تتغير مع درجة الشد والالتواء العارضين للحبال عند عملها واما الحبال الجديدة المفتولة ثلاث مرات فتكون فيها تلك الكمية تابعة مع الضبط الكافى لنسبة مربعات اقطار الحبال فاذا استعملت الحبال زمنا طويلا ارتخت فروعها وتناقصت فيها الكمية الثابتة الناشئة عن شدها الاصلى)

واذا قابلنا مقاومات القنن بمقاومات الحبال الصغيرة وجدناها اقل مما تدل عليه نسبة المربعات وذلك أن قطر البت المركزى يتزايد فى الحبال الغليظة بدون أن تزيد المقاومة بنسبة واحدة عند الانثناء وحينئذ فيمكن فى القنن الغليظة أن تكون جميع الفروع مشدودة مع التساوى كالحبال الرفيعة لان الحبال

المشدودة

المشدودة كثيرا هي التي تقاوم كثيرا بخلاف غيرها من الحبال فانها تلين بمجرد
ليها من غير جهد

ويلزم تعيين التأثير الذي يعرض لشد الحبال حين رطوبتها وثم اشغال كثيرة
لاسيما ما كان منها متوقفا على شدة الهواء كسير السفن والامطار وامواج البحر
وغير ذلك تبتل فيها الحبال وتتغير طبيعتها بحيث تكون على حالة تباين
بالكلية حالتها وهي جافة

ويرى بمجرد النظر أن شد الحبال لاسيما اذا كانت غليظة يزيد زيادة بينة
متى كانت مبلولة بالماء وترى في شكل ١٤ صورة الآلة التي تدل على أن
هذه الزيادة تقاس بكمية ثابتة مهما كان الحمل الذي تحمله الحبال

وقد عملت تجاريب كلب الاولية في الحبال البيضاء وعمل غير الأولية منها
في الحبال المقطرنة (اى المدهونة بالقطران) فوجد أنه يلزم في هذين النوعين
مهما كان الشد اضافة كمية ثابتة الى المجهودات التي لابد منها في ثني الحبل
المفروض انه ابيض جاف وليس بينهما كبير فرق كما قد يتوهم وذلك لان شد
الحبال المقطرنة لا يفوق على شد الحبال البيضاء الا بمقدار $\frac{1}{6}$

ومثل هذا الفرق مهم جدا لشهرته في العمليات وقد تستعمل الحبال البيضاء
اذا اقتضى الحال استعمالها في البكرات والطنابير ولو كانت بذلك عرضة
لشدة الهواء فحينئذ تجد ما ينشأ عنها في القوى المحركة من توفير اجرة الشغالين
يعادل ما يصرف فيها حين تبلى سريعا

وقد دلت التجربة على أن الحبل القديم المقطرن يكون شده كشد الحبل الجديد
المقطرن تقريبا نعم وان كانت خيوط القنب يقل اشتدادها عند البلا الا أن
تعرضها للهواء والمطر يجمد القطران فيعادل تأثيرها تأثير الجديدة

وقد ذكر كلب قواعد حسابية سهلة تتعلق بتطبيق ما استنبطه من النتائج
على تقويم المقاومة وتقديرها عند انثناء الحبال المتنوعة على الاسطوانات
او البكرات المعلومة الاقطار لكون شدودها معلومة ايضا واذا اردت الوقوف
على هذا التطبيق فعليك بكتاب هذا العالم الشهير

وقد عملت تجاريب الحبال المقطرنة فى فصل الشتاء حين كان ترمومتر ريومور مرتفعا عن الانجماد بخمس درجات اوستة فظهر أن الجليد يزيد فى شد هذه الحبال لاسيما اذا كانت عظيمة القطر وقد عملت ايضا تجربة الحبل المقطرن المؤلف من ١٥ فرعا حين كان الترمومتر منخفضا عن الانجماد باربع درجات فوجد أنه يستلزم قوة اكبر (بسدس تقريبا) مما اذا كان الترمومتر مرتفعا عن الانجماد بست درجات الا أن هذه الزيادة ليست تابعة لنسبة الاحمال لان الجزء الثابت من المقاومة فى هذه الصورة هو الذى يزيد زيادة بينة

وهاهنا تنبيه يتعلق بسائر التجاريب السابقة وهو انه متى كانت الحبال مثقلة باثقال ورفع ملف ب بَ (شكل ١٤) بأن ادير بقوة الذراع ثم خلى ونفسه فسقط فى الحال قل شد الحبل بحيث يكون على الثلث مما فى تلك التجاريب وهذا عام فى سائر الحبال سواء كانت بيضاء اومقطرنة قديمة اوجديدة غيرأنه فى الغليظة والجديدة يكون اظهر مما فى البالية والرفيعة وكذلك يكون اظهر فى الملفات الصغيرة من الكبيرة لكن اذا تركنا تلك الحبال ساكنة مدة من الزمن ورفعنا الملف من غير أن نخفضه وجدنا شد الحبل يزيد زيادة بينة لكن لا يصل الى الحد الذى حده له كلب فى تجاريبه الابعد أن يسكن ٥ دقائق او ٦ وعليه ففى التحرك المتردد الذى تكون فيه القوى معدة لرفع الثقل وخفضه كما فى تأثير آلات الدق المعدة لرفع الكبش او الشامردان المستعمل لدق الخوابير فى الارض يكون شد الحبل اقل مما فى التجاريب المتقدمة ومن هذا القبيل الحبل الذى يمر بكرتين متجاورتين * ولكيلا يكون التحرك سريعا يلزم أن تكون القوة المستعملة فى الظفر بشد الحبل عند التوائه على البكرة الثانية دون القوة المستعملة فى ثنيه على البكرة الاولى وان كانت درجتهما واحدة بالنظر للشد

ويؤخذ من التنبيه المذكور أن الاجزاء المنثنية تأخذ فى الاستقامة مع البطئ وأن الشد كبيرا كان اوصغيرا يكون على حسب هذه الاستقامة

وزيادة على ذلك يلزم العمل بمقتضى هذا التنبيه فى حساب آلات البحارة البطيئة التحرك بطأ كافيا والتى بكراتها دائما على مسافات كافية من بعضها ليكون كل جزء من اجزاء الحبل عند مروره من بكر الى آخر مستوفيا للزمن الذى يستكمل فيه شده وعلى ذلك فلابد فى تقويم الآلات غالبا من حساب المقاومات بالنظر للحالة التى تضر بالقوى المحركة

ثم ان الحواصل المكتسبة من الآلة المرسومة فى شكل ١٥ تثبت الحواصل المكتسبة من الآلة المرسومة فى شكل ١٤

وذلك اننا وضعنا صقالتى ط ط و ط ط الحاملتين للوحى د د و د د ووضعنا ايضا لوحى م م و م م الغليظين فى موضع ضيق وجعلنا اعلاهما افقيا واصلحناه اصلاحا تاما فكان بينهما فرجة طولية

ولم نزل نضع بالتوالى ملفات متنوعة على قاعدتين من البلوط حتى صار محور هذه الملفات (شكل ١٥) عموديا على هاتين القاعدتين اللتين اطرافهما مستديرة وحيث انهما على غاية من التساوى علقنا فى طرفى الملف اثقالا قدرها ٢٥ كيلوغراما بخيوط من الدبارة اللينة التى تبلغ دورتها ٤ ميليمترات ونصفا ولا يبلغ شدها جزأ من واحد من ثلاثين من شد الحبل المركب من ٦ فروع وقد يحصل ضغط معين على القاعدتين بواسطة عدة خيوط من الدبارة الموزعة على الملفات كل منها يحمل ثقلا يبلغ ٢٥ كيلوغراما فى طرف كل ملف من تلك الملفات وبواسطة ثقل صغير يعلق بالعقاقب فى جهتى الملف نختبر القوة التى تحرك هذا الملف تحريكا مستمرا غير محسوس اوتظفر اولا بشد حبل ث ث وثانيا باحتكاك الاسطوانة

وشد الحبل دائما على نسبة منعكسة من قطر الاسطوانة

واما احتكاك اسطوانة ب ب الحاصل على مستو افقى فهو على نسبة مطردة بالنظر للانضغاطات ومنعكسة بالنظر للقطر فعلى ذلك كلما كان قطر الاسطوانات التى لها ثقل واحد كبيرا كانت مقاومة الاحتكاك صغيرة

ومثل ذلك واضح غالبا * ويكثر فى اشغال الزراعة استعمال الاسطوانات التى يداس بها على الاراضى المزروعة لتكسير ما فيها من المدر وتفتيته ودرس الحشائش التى عليها حتى تصير رفيعة ومساوية لحجم الارض ولا بد من تنقيص مقاومة الاحتكاك بقدر الامكان بحيث يمكن للفرس الواحد أن يجر بدون مشقة اسطوانة طويلة او ثقيلة وهذا جار فى انكلترة فترى الانكليز يستعملون اسطوانات مجوفة من الحديد الصب جامعة بين الصلابة والخفة وكبر القطر وحيث انه فى الاسطوانات المتساوية الجسم يكون مقدار اينرسى المجوف منها اكبر من مقدار اينرسى المصمتة فان القوة المكتسبة من الاسطوانة تتغير فى ادنى النسب واصغرها بالموانع التى يلزم أن تقاومها الاسطوانة وتظفر بها ويجرى مثل ذلك فى استعمال العجلات فى النقل على اختلاف انواعه

وحيث انتهى الكلام على الاحوال الاصلية المتعلقة بتوازن البكرات المستعمل كل منها على حدته اومع بعضها بطرق مختلفة ناسب أن نقتصر على طرق صناعة هذه الآلات فنقول ان عمل البكرات من اهم فروع الصناعة لاسيما عند النجارة وله كيفية مخصوصة ويطلق اسم البكراتية على صناع هذه الآلات

ولم نتعرض فى كتابنا هذا لذكر البكرات المعدنية التى تصنع اجزاؤها الاصلية بقوالب مخصوصة معينة مع الاهتمام ومصنوعة على منوال الاشياء التى يصنعها النجارون مع الضبط والاحكام ومسبوكة من الحديد او النحاس ومشغولة على حسب قواعد صحيحة مضبوطة بل اقتصرنا على بيان صناعة البكرات المتخذة من الخشب ولنذكر ذلك فنقول

تصنع بكرات الخشب بعمل قرصها بالمنشار والمخرطة وصندوقها بآلات القطع الشبيهة بآلات النجار وصانع القباقيب وقد يصنع بآلات اخرى صناعة مفيدة وهو مركب من اربعة وجوه كل اثنين منها موازيان لمستويى التماثل اللذين احدهما مواز لمستويات الاقراص والآخر عمود عليها

وقد اخترع برونيل الميكانيكى وهو من علماء الفرنساوية لاجل عمل الوجوه

المذكورة

المذكورة كاجزاء الاسطوانة المستديرة طريقة بديعة فى صناعة ذلك وهى أن تثبت على محيط عجلة كبيرة قطعا من الخشب مجوفة تجويفا مربعا وملايمة للبكرات المطلوبة فى الطول والعرض والسمك وبعد تثبيت تلك القطع على المحيط المذكور تثبيتا جيدا ندير ذلك المحيط على وجه بحيث يكون تحركه منتظما ثم نصنع الوجه الخارج لكل قطعة ويكون كل وجه من هذه الوجوه على شكل قوس اسطوانة قائمة مستديرة محورها هو عين محور العجلة وبعد ذلك ندير من الزاويتين القائمتين كل قطعة من قطع الخشب بحيث تصير وجوهها الخارجة داخلة بالنسبة للدائرة التى تحملها ثم نحرك العجلة الكبيرة ونصنع وجوه القطع التى صارت خارجية ثم نأخذ هذه القطع ونضعها على عجلة جديدة لها قطر موافق وعند ذلك نصنع فى كل صندوق الوجهين اللذين لم يصنعا وتكون صناعتهما على شكل قوسى اسطوانة مستديرة نصف قطرها مباين لنصف قطر الاسطوانة السابقة وتكون ملائمة لصورة الصندوق

فتكون القوة المحركة على طريقة برونيل حادثة من آلة بخارية وقد تكون حادثة من دوران الخيل اومن قوة الماء اومن قوة الناس والمطلوب لنا هنا هو تفاصيل العجلة وتحركها المستدير

وهنا صناعة اخرى لابد منها وهو عمل الثقوب ذات الوجوه المستوية التى يوضع فى كل منها قرص بكرة وهذه الصناعة اذا حصلت بالكيفية المعتادة بالمطرقة والمقراض كانت بطيئة صعبة بخلاف ما اذا كانت بمثقاب نثقب به فى طرف من اطراف الاقراص ثقبا اسطوانيا فى جهة محل القرص يكون قطره مساويا بالعرض هذا المحل ثم ننشر بمنشار رفيع جدا داخل فى هذا الثقب من جهتى اليمين والشمال جزأ من الخشب المراد ازالته لاجل عمل محل القرص فانها بهذه الطريقة تكون سهلة

ولامانع من أن نستعمل فى ذلك مقراضا يكون له بواسطة قوة مستمرة تحرك متردد وهذه الطريقة هى التى اختارها العالم هوبيرت احد مهندسى البحارة

فلنفرض اذن عوضا عن قوة ح أولا قوة ع المساوية والموازية لها والمارة بنقطة و التي هي مركز الطارة وثانيا قوتين مساويتين $\frac{1}{2}$ ح ومتجهتين على وجه بحيث يديران الطارة في جهة واحدة ويؤثران في طرفي قطرها ولما كان تأثيرهاتين القوتين انما هو لاجل دوران الطارة على مركزها بدون أن يدفعا ذلك المركز الى اى جهة كانت لم يدفعا ايضا مسندى م و ن الى اى جهة كانت

فحينئذ يكون ضغطا حَ و حً الحاصلان على مسندى م و ن حادثين من قوة ع المساوية والموازية لقوة ح والمؤثرة في نقطة و التي هي مركز الطارة تأثيرا يكون على مستقيم واحد مع هذين المسندين فاذن تحدث هاتان المعادلتان وهما

$$ح = حَ + حً ، حَ × وم = حً × ون$$

$$\text{او}\quad حَ × من = ح × وم ، حً × من = ح × ون$$

وبمثل ذلك يبرهن على أن مقاومة ر تحدث على مسندى م و ن ضغطى رَ و رً بحيث تحدث هاتان المعادلتان وهما

$$ر = رَ + رً ، رَ × ـــم = رً × ـــن$$

$$\text{او}\quad رَ × من = ر × ـــم ، رً × من = ر × ـــن$$

وحرف ـــ هنا يدل على النقطة التي يكون فيها اتجاه مقاومة ر ساقطا سقوطا عموديا على محور الاسطوانة

ويؤخذ من هذه المعادلات مباشرة أن

$$حَ = \frac{ح × وم}{من} ، حً = \frac{ح × ون}{من} ، رَ = \frac{ر × ـــم}{من} ، رً = \frac{ر × ـــن}{من}$$

وهذه مقادير بسيطة سهلة الحساب

فاذا كانت قوتا حَ و رَ مارتين بنقطة م وقوتا حً و رً

مارتين بنقطة ن سهل تحصيل محصلتها وهي الضغط الكلي الحاصل على مسندي م و ن من القوة والمقاومة

ثم ان اسهل الصور في هذا المعنى واعمها هو ما كانت فيه قوة ح موازية لمقاومة ر فعلى ذلك تكون حَ و رَ و حً و رً متوازية ايضا وتكون محصلة حَ و رَ هي حَ + رَ ومحصلة حً و رً هي حً + رً وهذه هي الصورة التي يقع فيها على المسندين اعظم ضغط ممكن بالنظر لمقدارين مفروضين للقوة والمقاومة

فاذا لم تكن القوة والمقاومة متوازيتين فان حَ و رَ و حً و رً لا تكون ايضا متوازية ابدا فتكون م س هي محصلة حَ و رَ و ن س هي محصلة حً و رً وذلك بواسطة متوازي الاضلاع للقوى المبينة بمستقيمات م حَ و م رَ و ن حً و ن رً

وحيث كانت القوة دائما واقعة على مستوى الطارة فان الضغط الحاصل منها للمسندين يبقى على حاله لا يتغير لكن اذا كانت المقاومة حاصلة في طرف الحبل الذي يلف او ينشر تدريجا بحيث يتكون منه حلزون على اسطوانة المنجنيق فان تلك المقاومة تنقل تارة الى احد المسندين واخرى الى الآخر وبذلك يزداد الضغط الحاصل على المسند الاول لينقص الضغط الحاصل على الثاني وهذا بحسب النسب المتقدمة وحينئذ اذا كانت المقاومة مجاورة بالكلية لاحد المسندين فانها تحدث عليه ضغطا يكاد يكون مساويا لقوتها الكلية بخلاف الضغط الحاصل على المسند الآخر فانه يكاد يكون معدوما ومتى كانت المقاومة على بعد واحد من المسندين صار الضغطان متساويين

هذا ويلزم عمل المنجنيق على وجه بحيث تكون صلابته كافية لان يقاوم مسنداه اعظم ضغط ممكن

ثم ان المنجنيق كغيره من الآلات المتقدمة التي اختبرنا تأثيرها يقطع فيه النظر

عن ثقل الآلة ويقطع النظر ايضا عن قطر الحبل المفروض انه صغير جدا
والا وجب أن تكون قوة ح ومقاومة ر واقعتين على اتجاه محور الحبل وبناء
على ذلك يضاف الى قطرى الاسطوانة والطارة نصف قطر الحبل المستعمل
وبالجملة فمتى اثرت قوة ح (شكل ٢) على حبل اب ح الذى له
سمك معين وشدت جميع اجزائه بالسوية فان هذا الحبل يكون مستديرا وتكون
محصلة سائر المجهودات الحاصلة فى كل جزء على كل فرع من الحبل مارة بمركز
هذا الحبل واذن يمكن أن نعتبر قوة ح المحلولة لاجل التأثير فى جميع فروع
الحبل كأنها واقعة على محور الحبل المذكور وحينئذ يكون مقدار هذه القوة
مساويا (ش + اا) × ح اعنى انه يكون مساويا لنصف قطر
الطارة زائدا نصف قطر الحبل مضروبا فى القوة

فاذا اعتبرنا الآن تأثير حبل ب ر المشدود من احد طرفيه بمقاومة ر
والملفوف من الطرف الآخر على اسطوانة ش ظهر لنا بهذين الامرين
أن تأثير قوة ر الحاصل على الاسطوانة هو كناية عن مقدار (ش ب
+ ب ب) × ر اى نصف قطر الاسطوانة زائدا نصف قطر الحبل
مضروبا فى المقاومة المؤثرة فى هذا الحبل

وعلى ذلك ففى المنجنيق الذى نصف قطر طارته شا ونصف قطر اسطوانته
ش ب ونصف قطر حبله المشدود بقوة ح المؤثرة فى الطارة اا
ونصف قطر حبله المشدود بقوة ر المؤثرة فى الاسطوانة ب ب
يكون شرط التوازن هو مساواة حاصل ضرب القوة فى مجموع نصفى قطرى
الطارة والحبل المشدود بهذه القوة لحاصل ضرب المقاومة فى مجموع نصفى
قطرى الاسطوانة والحبل الذى يشد هذه المقاومة

فاذا كان المطلوب أن القوة او المقاومة تقطع مسافات كبيرة لم يكف فى ذلك
وضع صف واحد من ادوار الحبال على الطارة بل يلزم لذلك غالبا وضع صفين
اوثلاثة ولا يخفى أن القوة فى كل صف جديد تكون متباعدة بالتدريج عن
المحور ببعد واحد وهو قطر الحبل فى كل دور وبذلك يزداد كثيرا بعد المركز عن

اتجاه

اتجاه القوة ويلزم الاعتناء بضبط العملية عند تقويم النسبة الحاصلة بين المقاومة والقوة فى حساب توازن منجنيق واحد او اكثر تقويما مضبوطا

ثم ان غلظ الحبال لا يغير شيأ من وضع مركز الطارة بالنظر للقوة ولا من نقطة المحور التى يتوهم فيها اسقاط المحصلة لاجل التأثير على المساند فعلى ذلك لا يتغير بغلظ الحبال شئ من الضغط الحاصل على المساند

ولكن اذا تحرك المنجنيق فان غلظ الحبال يضم مقاومته الخصوصية الى سائر المقاومات ويكون كما تقدم على نسبة مطردة بالنظر للشدود البسيطة ومربع قطر الحبال وعلى نسبة منعكسة بالنظر لقطر اسطوانة المنجنيق اوطارته اونصف قطرهما ويؤخذ من ذلك انه ينبغى فى استعمال المنجنيق مزيد الاهتمام بعمل حبال تكون قوتها عظيمة جدا بالنظر لقطر مفروض

ولنلاحظ ما ينشأ عن القوة والمقاومة من التأثير الظاهر الواقع على عمود المنجنيق فنقول انه بواسطة تأثير قوة ق تجبر الاسطوانة اوعمود المنجنيق على الدوران فى نقطة و (شكل ١) نحو ح ح الذى هو اتجاه تلك القوة وبواسطة تأثير مقاومة ر يجبر ذلك العمود ايضا على الدوران فى ب نحو ر ر الذى هو اتجاه تلك المقاومة المقابلة لاتجاه نقطة القوة فاذا لم يكن العمود مركبا من مادة لا تتغير فان هذين التأثيرين المتضادين يؤثران فيه كثيرا او قليلا ويلتوى التواء مناسبا لمقدارى القوة والمقاومة

وسيأتى فى الدرس المعقود للبريمة تفصيل ما يتعلق بتأثير قوة الالتواء وبصورة الحلزون التى تكاد تجعل الالياف المستقيمة اسطوانات اى اعمدة تستعمل فى الآلات وذلك من اهم الاشياء فى متانة العمارات ومكثها

(بيان تأثيرات التثاقل فى المنجنيق)

وما اسلفناه فى شأن تأثيرات التثاقل فى البكرات يجرى ايضا فى شأن التأثيرات الحاصلة على المنجنيق والطارات المضرسة

ومن القوى المعدومة ما يستعمل فى الظفر بانترسى الاسطوانة والطارة ويلزم أن يضاف الى الانضغاطات الواقعة على كل محور وكل نقطة من نقط

الارتكاز الضغط الرأسي الحاصل من ثقل طارة الاسطوانة والحبال

واما الحبل الذى يلتف من طرف على اسطوانة المنجنيق او المعطاف ويربط من الطرف الآخر بالمقاومة فانه عند التفافه على الاسطوانة ينقطع ثقله بالتدريج عن أن يكون جزأ من المقاومة الاصلية ويكون جزأ من المقاومة التى تعرض لها من الاسطوانة وبذلك يكاد ينقص فى كثير من الصور المقدار الكلى للمقاومة

ولاجل بقاء هذا المقدار الكلى على حاله دائما يستعمل فى الغالب ثقل معلق بطرف الحبل مقابل للثقل الذى يشد المقاومة فينفرد الحبل حينئذ من جهة الثقل بقدر ما يلتف من جهة المقاومة وبالعكس وبالجملة فالحبل يلتف دائما على الاسطوانة بهذا القدر وبناء على ذلك تكون النسبة الحاصلة بين القوة والمقاومة واحدة دائما متى صارت سرعة التحركات منتظمة

ثم ان الضغط الحاصل على المحاور ونقطة الارتكاز يعظم بقدر ثقل الاسطوانات والطارات التى تتركب منها الآلات المستعملة فيلزم اذن أن تكون اثقالها صغيرة مهما امكن لكى تنقص بقدر الامكان المقاومات الحادثة من الآلات وسيأتى توضيح ذلك فى الكلام على الاحتكاكات

وتستبدل فى الغالب طارة المنجنيق بذراع رافعة تكون القوة واقعة عليه فاذا كان هذا الذراع مستقيما سمى قضيبا * والمانويلة وهى الملوى هى فى العادة رافعة منكسرة بها مقبض تكون يد الانسان عليه كالقوة (شكل ٣)

وفى الغالب يستعمل بدلا عن قرص البكرة لاجل تحريك عمود المنجنيق طارات ذات مدرجات واخرى ذات طنابير فاما ذات المدرجات (شكل ٥) فيصعد على مدرجاتها الغائرة فى يمين محيط الطارة وشماله كما يصعد على درج سلم التسلق ويحصل التحرك اذا كان حاصل ضرب جهد ثقل الصاعد فى بعد مركز الطارة عن الخط الرأسى الممتد من ثقل ذلك الصاعد يزيد على حاصل ضرب ثقل المقاومة فى بعد محور الطارة والاسطوانة عن الخط الرأسى الممتد من مركز ثقل تلك المقاومة

وفائدة

وفائدة هذه الآلة هي ان الصاعد على المدرجات يكون بعيدا ما امكن عن الخط الرأسي الممتد من مركز الطارة وبناء على ذلك يعظم تأثيره بقدر الامكان كلما فرضت الطارة كبيرة

وهنالك طارات اخرى عريضة ومجوفة في داخلها مسلك يمر منه الشغالون المنوطون بتسيير الآلة وفي هذه الصورة كالتي قبلها تقاس النسبة الحاصلة بين القوة والمقاومة وسيأتي في الدرس الحادى عشر المختص بالمستويات المائلة بيان كيفية وقوع قوة الصاعدين بيانا شافيا

ويكثر في بلاد الانكليز استعمال الطنابير التي تقع عليها قوة الانسان بطرق متنوعة ولنفرض طنبورة او اسطوانة كبيرة القطر على محيطها درجات صغيرة بارزة مثبتة على بعد واحد من بعضها موضوعة على وجه بحيث يسهل على من تكون يداه متكئة على قضيب افقي أن يصعد عليها خطوة بخطوة بدون احتياج الى مد رجليه مدا كبيرا ثم ان الاشخاص المعدين لتحريك الطنبورة يقفون بجانب بعضهم ويقبضون بايديهم على القضيب الافقي المذكور واما ارجلهم فانهم عند نقلها يضعونها بالتعاقب على الدرجات المزدوجة اوغير المزدوجة لتدور بها الاسطوانة وهذا الشغل المخترع للمسجونين معدود من العقوبات الشديدة ويؤخذ من ذلك أن قوة الناس المؤثرة يمكن أن تستعمل في تحصيل امور نافعة فاذا كانت المقاومة واقعة على محيط سهم الطنبورة كانت نسبة المقاومة الى القوة كنسبة بعد محور الطنبورة عن الخط الرأسي الممتد من مركز ثقل الشغالين الى نصف قطر سهم الطنبورة المذكورة

والارغات الافقية هي آلة مركبة من اسطوانة افقية كاسطوانة المنجنيق ومن قضبان اوروافع غائرة من احد طرفيها في ثقوب مصنوعة على محيط الاسطوانة من جهة طرفيها واما الطرف الآخر من القضبان فانه يقع عليه تأثير جهد ايدى الشغالين ونسبة القوة الى المقاومة هنا كنسبة نصف قطر السهم زائدا نصف قطر الحبل الذى تربط به المقاومة الى بعد المحور عن النقطة التي يقع عليها تأثير ايدى الشغالين

ولا مانع من استعمال الآلة المذكورة فى جوانب السفن وتستعمل ايضا
فى عربات النقل الضيقة الطويلة المعروفة بالكاميون وفى هذه العربات
يوضع سهم آلة الارغات امام العجلات ويكون الحبلان الملتفان على السهم
المربوطان من طرفيهما فى النهاية الخارجة من العربة موضوعين فوق البضائع
فاذا كان تأثير الجهد حاصلا بواسطة قضبان الآلة المذكورة لاجل لف الحبلين
كثيرا فانهما يجبران على أن يكونا دائما فى مسافة صغيرة وعلى ضم البضائع
لبعضها او حزمها بحيث لا يمكن وقوعها بالتأثير الناشئ عن الارتجاج
ويكثر استعمال المنجنيق وآلة الارغات فى الصناعة فترى ببلاد انكلترة
على واجهات المخازن الكبيرة المعدة للتجارة خيوطا رأسية لاجل اسناد
الشبابيك وترى ايضا فوق واجهة الشباك الزائد عن غيره فى الارتفاع بكرة
ثابتة دائما فى طرف الحلقة التى تكون تارة بارزة من الحائط وتارة ملصوقة به
وذلك على حسب ما يراد فاذا كان المطلوب رفع بضائع اوتنزيلها فانهم يربطونها
فى طرف حبل يمر ببكرة ثابتة ويصل الى المخازن فيلتف على سهم المنجنيق
المتحرك تارة بالمانويله وتارة بالعجلات وما اشبه ذلك ومن المهم استعمال
الآلات البسيطة لاسيما المنجنيق فى تجارات فرانسا
ثم ان آلة العيار (المعدة لرفع الاحجار) هى من متعلقات المنجنيق والغرض منها
امران احدهما رفع الحمل اوخفضه وثانيهما وضعه فى محل لا يكون على الخط
الرأسى المقابل لوضع الحمل الاصلى فيلزم عمل حلقة تدور على السهم الرأسى
ويكون فى طرفها الاعلى قرص بكرة ثابتة وفى طرفها الاسفل سهم المنجنيق
او آلة الارغات المتحركة باحدى الطرق السابقة اعنى القضبان او الطنابير
فاذا اقتضى الحال اخراج ما فى السفن من البضائع ووضعها على الرصيف
وكان العيار موضوعا على طرف ذلك الرصيف القريب من السفن فاننا نديز
حلقة العيار الى النقطة التى يكون فيها القرص الثابت فى الذراع الاعلى
من الحلقة موضوعا رأسيا على قنطرة السفينة (المعروفة عند الملاحين
بالكوبرته) التى يراد تفريغها وتربط البضاعة فى طرف الحبل الذى يمر بالبكرة

الثابتة و يلتف على اسطوانة المنجنيق ثم نوجه تأثير القوة المعدة لتحريك هذا المنجنيق الى الجهة اللازمة لرفع الحمل فاذا وصل هذا الحمل الى الارتفاع اللازم ابطلنا دوران المنجنيق وندير الحلقة على سهمه حتى تصل الى النقطة التي يكون فيها الحمل المعلق في تلك الحلقة موضوعا رأسيا على الرصيف فحينئذ يقع على القوة تأثير المقاومة و يهبط الحمل بواسطة تأثير ثقله حتى يصل الى الرصيف او العربة التي تكون مسامتة لهذا الحمل ثم ان اغلب العيارات يتحرك بواسطة قوة البشر ومنها ما يتحرك بقوة البخار وقد ذكرنا من هذه الآلات ما هو اكثر استعمالا في الجزء الثالث من رحلتنا الى بلاد بريطانيا الكبرى (قوة تجارية داخلية) وذكرنا ايضا لتلك الآلات امثلة عديدة مع ما يلزم لها من الاشكال الهندسية وهي قليلة الحجم كثيرة الصلابة لكون جميع اجزائها من الحديد

ولا بد في عمل العيارات مع الضبط أن يكون صانعها له اليد الطولى في الهندسة والميكانيكا حتى يجعل لاجزائها المتنوعة اشكالا وتناسبات تنفع جدا في ضبط الحركات وتلطيفها ولا بد ايضا أن تكون الاجزاء المتحركة من العيار خفيفة بقدر الامكان وأن تكون صلبة على حسب ما تقتضيه الضرورة لان قوة اينرسي الاجزاء الثقيلة جدا تستلزم في نظيرها ينعدم منها جهدا يترتب عليه توفيرها وما ذكرناه سابقا من القواعد وما سنذكره منها في هذا الجزء له شواهد واضحة في صناعة العيار وغيره من سائر الآلات التي هي من قبيل المنجنيق

ومن الآلات الشبيهة بالمنجنيق آلة رفع الاثقال المعروفة بالعيوق وهي مركبة من سهم افقي موضوع قريبا من قاعدة المثلث الحادث من عارضة افقية وقائمين مائلين ومن بكرة مثبتة في الرأس الذي يلتصق فيه القائمان ببعضهما وهذا المثلث الذي قاعدته على الارض يكون ممسكا من رأسه بساق ثالث مائل الى جهة تضاد الجهتين الاوليين فاذا كان المطلوب رفع حمل فان هذه الآلة توضع على وجه بحيث يكون الحمل بين سيقان الآلة الثلاثة و يكون احد طرفي الحبل المار بالقرص الثابت ممسكا للحمل والطرف الآخر ملتفا على سهم المنجنيق

المتحرك بواسطة القضبان او الروافع وكثيرا ما تستعمل الآلة المذكورة في اشغال الطوبجية وقد تقدمت صورتها (في شكل ٧ من الدرس الرابع من الجزء الاول)

والمعطاف (شكل ٨) هو منجنيق محوره رأسي والقضيب او القضبان المعدة لتحريكه افقية

ويتحقق التوازن في العيوق والارغات والمعطاف متى كان حاصل ضرب القوة في طول ذراع الرافعة الواقعة على طرفه هذه القوة مساويا لحاصل ضرب المقاومة في نصف قطر الاسطوانة زائدا نصف قطر الحبل الذي تكون هذه المقاومة مربوطة به

فاذا كان هناك عدة قضبان وعدة قوى واقعة عليها لزم ضرب كل قوة في طول ذراع رافعتها واخذ مجموع هذه الحواصل وهذا المجموع هو الذي يكون مساويا لمقدار المقاومة

وليس تأثير تثاقل الآلة على نقطتي الارتكاز واحدا في المنجنيق والمعطاف اذ في المعطاف يكون السهم المعروف بالجرس رأسيا وتكون القوة والمقاومة متجهتين اتجاها افقيا فيكون تأثيرهما على نقطتي الارتكاز ضغطا افقيا وينشأ عن تثاقل سهم المعطاف وقضبانه ضغط رأسي لا على المحيط المستدير المعد لدخول اصبعي السهم بل على القاعدة الموضوعة تحت ذلك السهم في اتجاه المحور وهذه القاعدة التي هي في العادة مجوفة كالطيلسان الكروي تعرف بالسكرجة

ولا يتأتى في المعطاف حسبما هو مشاهد أن يكون الضغط الافقي الواقع على نقطتي الارتكاز ناشئا الا عن تأثير القوة والمقاومة لان ثقل الآلة لا دخل له في ذلك بالكلية

ويستعمل المعطاف غالبا في الاشغال الداخلية لاجل جر الاحمال جرا افقيا فتتزحلق هذه الاحمال على الملفات الاسطوانية المتخذة من الخشب او الحديد وقد تتزحلق على عجلات صغيرة او اكر تجري في افاريز مجوفة وسبب اختراع

هذه الطريقة الاخيرة انهم ارادوا نقل كتلة عظيمة عليها صورة بطرس الاكبر في مدينة سنت بترسبورغ

ويستعمل المعطاف ايضا في الفنون الحربية لاسيما فن الطوبجية لاجل اجراء اشغال هذه القوة العسكرية في الترسانات والمعسكرات والمحاصرات

وكذلك يستعمل مع الاهتمام في جوانب السفن لاجل اجراء لوازمها واشغالها ومعطاف السفن الاكبر (شكل ٧) على صورة سهم رأسي يثقب الكويرتتين ويستقر على سكرجة موضوعة في الكويرتة المستعارة ويحيط بهذا السهم في احدى الكويرتات المتوسطة جرس على شكل مخروط عوضا عن أن يكون على شكل اسطوانة ولا بدّ أن يكون على محيط هذا الجرس عدّة ادوار من الحبل المعدّ لشدّ المقاومة ويلزم أن نوضح هنا تأثير هذه الصورة المخروطية فنقول

قد سبق أن الخطوط الحلزونية المرسومة على سطح الاسطوانة هي اقصر خطوط يمكن رسمها بين نقطتين على مثل هذا السطح وعليه فتكون القوى الواقعة على طرفي الحبل المنثني على صورة خط برمي حول الاسطوانة في اتجاه هذا الخط البرمي شادّة بالضرورة للحبل المذكور في اتجاه ذلك الخط البرمي وفي هذا الوضع تكون القوّتان المؤثرتان بمماسة الخط البرمي مائلتين بالنسبة لاضلاع الاسطوانة او بالنسبة للمحور غير أن اتجاه القوّة والمقاومة يكون كما سبق في تعريف المنجنيق والمعطاف عموديا على اتجاه الاضلاع ومحور السهم وحينئذ لا تؤثر المقاومة الواقعة على الطرف الخالص من الحبل المنثني انثناء حلزونيا على سهم المنجنيق او المعطاف في اتجاه الخط الحلزوني فاذن ينشأ عن تأثير هذه القوّة اختلال الحبل واضطرابه بحيث لا يبقى على الاتجاه الحلزوني الذي كان عليه وينشأ عن تأثير المحصلة ضغط شديد لجزء الحبل المنثني كما سبق انثناء حلزونيا على محيط السهم بحيث اذا انضم جزء هذا الحبل الى بعضه امتلأ الخط البرمي شيأ فشيأ حتى يصير المماس لهذا الخط البرمي في اتجاه المحصلة التي يحصل فيها الخلل ايضا

وحيث انه يلزم في تحرك المعطاف أن تقطع المقاومة بواسطة هذه الآلة مسافة

كبيرة تساوى طول قنة مثلا لها من الامتار عدة مات فاذا تصورنا ان القنة ملتفة مباشرة على جرس المعطاف لزم أن تحدث ادوارا كثيرة على نفسها وبذلك يزداد قطر الجرس وتنقص شدة القوة

ويمكن تدارك هذا الخلل بواسطة حبل غير متناه يعرف بالحبل البريمى وذلك انه يوجد فى هذا الحبل على ابعاد منه عقد معتبرة كنقط منع ووقوف لاجل ربط القنة التى يراد شدها به فنديرهذا الحبل خمسة ادوار اوستة دورانا حلزونيا على جرس المعطاف وكلما دار المعطاف التف طرف الحبل البريمى الاسفل وانفرد طرفه الاعلى فاذا كان الجرس اسطوانيا فانه يستمر على التحرك بهذه الكيفية حتى يصل الحبل البريمى فى اقرب وقت الى اسفل ذلك الجرس فيشتبك حينئذ بين الجرس وسطح كويرتة السفينة اويجبر على الالتفاف من جهة مضادة لجهته ليتحصل صف آخر من الحبل الملفوف على الجهة الاولى ولكن لاتغفل أن صورة جرس المعطاف مخروطية ومجوفة من اسفلها فعلى ذلك يتحصل من تحليل القوى على ماسنذكره فى شأن المستوى المائل انه كلما قوى شد الحبل البريمى بتأثير المقاومة قوى ايضا ضغط هذا الحبل لاجل رفع جزء الحبل البريمى المنثنى كما سبق انثناء حلزونيا ويكفى هذا الضغط من زمن الى آخر فى رفع سائر الادوار الحلزونية ودفعها الى اعلى

وهذا التأثير الاخير ينشأ ايضا عن كون جرس المعطاف بعد أن كان مخروطا لايسهل به رفع الحبل فى سائر الاوقات صار سطح دوران مجوفا من جزءه المتوسط كسطح الجرس الذى اخذ منه اسمه وكلما التف الحبل على هذا الجرس وهبط الى اسفل كان على قطعة مخروطية مجوفة جدا وهذا الميل كما سيأتى فى مبحث المستوى المائل يكسب شد الحبل قوة عظيمة حتى يرفع سائر الادوار الحلزونية الحادثة على الجرس وينقلها الى الجزء الاعلى من المعطاف وبهذه الطريقة البديعة يجبر الخلل المتقدم

وبالجملة فى الحالة التى يكون فيها الحبل البريمى عند هبوطه الى اسفل الجرس ملتفا على نفسه مع وجود صورة الجرس يتلافى الحبل المذكور مع

عجلتى ر و ر الصغيرتين البارزتين اللتين يكون محورهما موضوعا على محيط قاعدة جرسين و يكون على هاتين العجلتين مستوى ا ا المائل الذى يدفع الحبل البريمى بجبره على الصعود

فاذا فرضنا حينئذ انه يوجد عدة منجنيقات او معاطيف مثل ا ب ث و أ بَ ثَ و اً بً ثً الخ (شكل ٩ و ١١) موضوعة على وجه بحيث تكون ح هى القوة المؤثرة على حبل المنجنيق الاول ويكون حبل ب اَ ملتفا من احد طرفيه على اسطوانة المنجنيق الاول ومن الطرف الآخر على عجلة الثانى ويكون ايضا حبل بَ اً ملتفا على اسطوانة المنجنيق الثانى وعجلة الثالث وهكذا وفرضنا ايضا ان ر و رَ و رً الخ هى شدود حاصلة لحبال متنوعة لزم أن تكون ر و رَ و رً الخ معتبرة على التوالى كقوة المنجنيق الثانى والثالث والرابع الخ

فاذن تحصل هذه التناسبات الدالة على حالة التوازن وهى

ح : ر :: ث ب : ث ا و $\frac{ح}{ر} = \frac{ث ب}{ث ا}$

ر : رَ :: ثَ بَ : ثَ اَ و $\frac{ر}{رَ} = \frac{ثَ بَ}{ثَ اَ}$

رَ : رً :: ثً بً : ثً اً و $\frac{رَ}{رً} = \frac{ثً بً}{ثً اً}$

فاذا ضربنا الحدود الاول من هذه المتساويات فى بعضها و الحدود الثانية فى بعضها ايضا يحصل معنا

$$\frac{ح \times ر \times رَ \text{ الخ}}{ر \times رَ \times رً \text{ الخ}} = \frac{ث ب \times ثَ بَ \times ثً بً \text{ الخ}}{ث ا \times ثَ اَ \times ثً اً \text{ الخ}}$$

واذا قطعنا النظر عن الحدود التي يمحو بعضها بعضا تحصل معنا

$$\frac{\text{ح}}{\text{ر}} = \frac{\text{ثب} \times \text{ثب}' \times \text{ثب}'' \text{ الخ}}{\text{ثا} \times \text{ثا}' \times \text{ثا}'' \text{ الخ}}$$

وعلى ذلك تكون نسبة القوة للمقاومة في عدة منجنيقات اومعاطيف كنسبة حاصل ضرب انصاف اقطار سائر الاسهم الى حاصل ضرب انصاف اقطار جميع العجلات

فاذا اردنا أن ندخل في هذا المقدار قطر الحبال لزم أن يكون التوازن حاصلا متى كان حاصل ضرب القوة في انصاف اقطار العجلات التي كل نصف قطر منها يزيد بقدر نصف قطر الحبل الملفوف على العجلة المقابلة له مساويا لحاصل ضرب المقاومة في انصاف اقطار الاسطوانات التي كل نصف قطر منها يزيد بقدر نصف قطر الحبل الملفوف على الاسطوانة المقابلة له

ثم ان الطريقة الآتية تستعمل غالبا في تحويل تحرك دوران من محور مفروض الى محور موازله وكيفية استعمالها أن نثبت على كل من محوري $\overline{\text{ث}}$ و $\overline{\text{ث}}$ (شكل ١٠) قرصي $\overline{\text{ثا}}$ و $\overline{\text{ثا}}$ ونحيطهما بحبل $\overline{\text{اا ب}}$ غير المتناهي الذي يوجد به فروع صغيرة قريبة جدا من بعضها ومربوطة في تجويفات مصنوعة في محيط القرصين لتمنعه عن التزحلق فاذا كانت $\overline{\text{ح}}$ هي القوة المحركة للعجلة الكبيرة والمؤثرة في طرف ذراع رافعة $\overline{\text{ثد}}$ كان $\overline{\text{ثد}} \times \overline{\text{ح}}$ هو مقدار القوة المذكورة واذا كان $\overline{\text{ط}}$ هو شد الحبال لزم أن بعجلة $\overline{\text{ثاب}}$ تكون $\overline{\text{ح}} \times \overline{\text{ثد}} = \overline{\text{ط}} \times \overline{\text{ثا}}$ فاذن يكون

$$\text{ط} = \text{ح} \times \frac{\text{ثد}}{\text{ثا}}$$

واذا كان ر هو المقاومة المؤثرة في طرف ذراع $\overline{\text{ثد}}$ تحصل معنا بلا واسطة شرط التوازن وهو

$$\text{ر} \times \text{ثد} = \text{ط} \times \text{ثا} \quad \text{فاذن} \quad \text{ط} = \text{ر} \times \frac{\text{ثد}}{\text{ثا}}$$

غير

غير أن شدّ $\overline{ط}$ الحاصل من القوة يكون عين شدّ $\overline{ط}$ الحاصل من المقاومة

وبناء على ذلك تكون $\overline{ح} \times \frac{\overline{شد}}{\overline{شا}} = \overline{ر} \times \frac{\overline{شى}}{\overline{شا}}$

فاذا فرضنا أن $\overline{شد} = \overline{شى}$ نحصل $\overline{ح} \times \overline{شا} = \overline{ر} \times \overline{شا}$

وهذا من شروط التوازن البسيطة جدًّا

ولنفرض في حالة التحرك أن ذراع $\overline{شد}$ الذي تكون قوة $\overline{ح}$ واقعة عليه يحدث دورة في زمن $\overline{ط}$ ثم ننظر كم دورة يحدثها في هذا الزمن ذراع $\overline{شى}$ الذي تكون مقاومة $\overline{ر}$ واقعة عليه

فيدور قرص $\overline{اب}$ دورة كاملة في مدة دورة $\overline{شد}$ وتقطع كل نقطة كنقطة $\overline{ا}$ على الحبل غير المتناهي مسافة تساوي محيط العجلة غير أن كل نقطة من نقط العجلة الصغيرة تكون سريعة الحركة كالحبل غير المتناهي لان المفروض أن الحبل دائمًا لا يتزحلق بطول العجلات فاذن تقطع نقطة $\overline{ا}$ في مدة زمن $\overline{ط}$ على عجلة $\overline{اهـ}$ مسافة تساوي محيط $\overline{اهـ}$ وحيث ان طول المحيطات مناسب لطول انصاف الأقطار يكون محيط $\overline{اهـ}$ الصغير محصورا في الكبير بقدر انحصار نصف القطر الصغير في الكبير وحينئذ يلزم أن نقطة $\overline{ا}$ تحدث دورات بقدر انحصار $\overline{شا}$ في $\overline{شا}$ حتى تقطع على العجلة الصغيرة مسافة تساوي محيط العجلة الكبيرة

فاذا ضربنا عدد الدورات في مقدار المقاومة وهو $\overline{ر} \times \overline{شى}$ نحصل معنا

$$\overline{ر} \times \overline{شى} \times \frac{\overline{شا}}{\overline{شا}} \times \text{محيط } \overline{اب}$$

وهي كمية مساوية بالضبط لقوة $\overline{ح} \times \overline{شد} \times \text{محيط } \overline{اب}$

حيث ان $\overline{ح} \times \frac{\overline{شد}}{\overline{شا}} = \overline{ر} \times \frac{\overline{شى}}{\overline{شا}}$ يحدث منه

$$\overline{ح} \times \overline{شد} = \overline{ر} \times \frac{\overline{شا}}{\overline{شا}} \times \overline{شى}$$

وبناء على ذلك يحدث

ح × ثد × محيط ه اب = ر × بثد × ثا/ثا × محيط ه اب

ونوجد هنا ايضا المساواة التى تكون دائما باقية على حالة واحدة بين كميتى تحرك القوة والمقاومة فى تحرك الآلات المتواصل

ويكثر استعمال الآلة التى ذكرناها آنفا فى حرفة الخراطة ونستعمل ايضا فى الحرف الهينة كسن السكاكين وكذلك فى فن الغزل كالقرص الذى به يغزل الخيط

وفى ذلك القرص تكون قوة ح هى رجل الغازل المؤثرة فى طرف المانويلة بواسطة دواسة تتكئ عليها تلك القوة مرة واحدة فى كل دورة

ويستعمل غالبا فى الورش التى يحتاج فيها الى مجهودات عظيمة سيور عريضة عوضا عن الحبل غير المتناهى الذى يدير العجلتين وربما استعملت السلاسل عوضا عن الحبال

وقد تستعمل السلاسل المسننة التى تكون كلاباتها الصغيرة منضمة الى بعضها بمحاور او بمسامير بارزة من الجهتين وداخلة فى ثقوب مصنوعة فى الطرفين المنثنيين من القرص الذى لا يمكن تحريكه بدون السلسلة

ويمكن بواسطة الطارات المضرسة (شكل ١٢) عدم استعمال ماذكر من الحبال والسيور والسلاسل وتحويل التحرك من طارة الى اخرى مباشرة لانه اذا قابلنا حينئذ بين طارتى اب ه و اَ بَ هَ متى كانتا متحركتين بوتر اَ اَ ب (شكل ١٠) او كان لهما اضراس متعشقة ببعضها مباشرة (شكل ١٢) وجدنا فى كلتا الحالتين ان كل نقطة من نقط اب ه و اَ هَ تتحرك بسرعة واحدة الا أن اب ه (شكل ١٢) يدور من الشمال الى اليمين و اَ هَ بالعكس اى من اليمين الى الشمال واما الطارات المفردة (شكل ١٠) فتدور فى جهة واحدة

وحيث كانت نقطتا اَ و اَ (شكل ١٠) متحدتى السرعة فان نقطة ا تحدث على اب ه دورة كاملة حين تحدث اَ على اَ هَ

دورات بعدد مرات احتواء نصف قطر اثَ على نصف قطر اثَ
فاذن تكون نسبة سرعة اهـ المنزوية الى نسبة سرعة اهب كنسبة
نصف قطر ثاَ الى نصف قطر ثا

فاذا كان الحبل غير المتناهي في اتجاه اب اب عوضا عن ان يكون
في اتجاه ا اب (شكل ١٠) كانت النسب التي بين القوة والمقاومة
المعادلة لها واحدة عند حصول التوازن غير أنه يحصل اختلاف في حالة التحرك
حيث انه بمقتضى الحالة الاولى تدور طارتا ابه و اـهـ في جهة
واحدة وبمقتضى الحالة الثانية يدوران في جهتين متضادتين

وبموجب هذا التركيب يمكن تحصيل آلة مركبة تشبه آلة المنجنيق (شكل ١٣)
بان نثبت على محور واحد طارات كبيرة مضرسة وطارات صغيرة مضرسة تعرف
بالتروس وهي ثا و ثا و ثاَ و ثاَ و ثاً و ثاً الخ

فلاجل تساوي مقداري قوة ح ومقاومة ر بجعل رَ و رً دالين على
الجهدين الواقعين على نقط مختلفة من نقط التعشيق تحصل هذه المعادلات وهي

ح × ثا = رَ × ثا

رَ × ثاَ = رً × ثاَ

رً × ثاً = رٌ × ثاً الخ

ح × رَ × رً الخ × ثا × ثاَ × ثاً الخ = رَ × رً × رٌ الخ
× ثا × ثاَ × ثاً الخ

فاذن يحدث بقطع النظر عن المضاريب التي يمحو بعضها بعضا ح × ثا
× ثاَ × ثاً الخ = ر × ثا × ثاَ × ثاً الخ

وعلى ذلك تكون نسبة القوة الى المقاومة كنسبة حاصل انصاف اقطار سائر
الطارات الصغيرة الى نسبة حاصل انصاف اقطار سائر الطارات الكبيرة

فاذا اوقعنا على نقطة تعشيق الطارتين (شكل ١٤) قوة مَ المتجهة

الى جهة تحركه شاه وقوة ن المتجهة الى جهة المقاومة الواقعة على الطارة الثانية وهى شاه لزم لاجل حصول التوازن أن تكون هاتان القوتان متساويتين بالبداهة

ولتكن قوة ح مؤثرة على اه فى طرف ذراع رافعة شد ومقاومة ر مؤثرة على اه فى طرف ذراع رافعة شذ فيحدث

$$\overline{\text{ح}} \times \overline{\text{شد}} = \overline{\text{م}} \times \overline{\text{شو}}$$

$$\overline{\text{ر}} \times \overline{\text{شذ}} = \overline{\text{م}} \times \overline{\text{شو}}$$

فاذن يكون $\text{ح} \times \frac{\text{شد}}{\text{شو}} = \text{ر} \times \frac{\text{شذ}}{\text{شو}}$

فعلى ذلك يعلم أولا انه حيث كان شد و شذ معلومين فكلما كان شو صغيرا كبر $\frac{\text{ح}}{\text{ر}} = \frac{\text{شو}}{\text{شد}} \times \frac{\text{شا}}{\text{شو}}$ وثانيا حيث كان شد و شذ ملازمين لحالة واحدة فان ح و ر يكونان على نسبة منعكسة عن نسبة شا و شا اللذين هما نصفا قطرى الطارتين المضرستين فبناء على ذلك اذا كانت الاولى ضعف الثانية او ثلاثة امثالها او اربعة امثالها كانت مقاومة ر المعادلة لقوة ح ايضا ضعف هذه القوة او ثلاثة امثالها او اربعة امثالها

وهناك آلة تشبه الطارات المضرسة وهى عجلة العربات

وليست الاجسام الطبيعية منتهية بسطوح مصقولة صقلا تاما وانما هى منتهية بسطوح خشنة متضرسة بتضاريس بارزة كثيرا وقليلا لانه اذا رصدت الاجسام المصقولة صقلا تاما بالمكرسكوب (وهى النظارة المعظمة) وجدت بها تضاريس بارزة وبتأثير هذه التضاريس يتعين تحرك عجلات العربة

وذلك ان العجلة اذا كانت مصقولة صقلا جيدا وكانت الارض افقية فان العجلة حين تجذبها القوة الافقية تمس الارض دائما بدون أن يعرض لها ادنى مقاومة الا أنه بالتثاقل تتعشق اضراس العجلة بتضاريس الارض فتقف العجلة

ويجبر

وتجبر على الدوران ثانيا حيث انه يعرض لها في كل وقت مقاومة جديدة تعدم
جزأ من سرعتها حتى تقف عن الدوران بالكلية مالم تتجدد القوة المعدومة
وقد شوهد في عدة اماكن من بلاد الانكليز سكك من الحديد مضرسة
تدحرج عليها عربات ذات عجلات مضرسة ايضا وكلاهما شاهد واضح على
ما اسلفناه من أن السطوح المصقولة كثيرا او قليلا وكذلك السكك المسطحة
والعجلات الاعتيادية لا تخلو عن الخرشة

فاذا فرضنا أن العجلات المضرسة اسطوانية اومخروطية وان محاورها بناء على
ذلك متوازية اومتباعدة عن بعضها فان نسبة القوة للمقاومة ليست دائما
عين نسبة ابعاد النقطة التي تتماس فيها الاضراس مع الاسهم المتناظرة التي
تصل القوة بالمقاومة

ثم ان صناعة العجلات المضرسة هي من ادق الصناعات وذلك لانها تستلزم
مراعاة القواعد الهندسية المضبوطة المتعلقة بتقسيم الدائرة (راجع خواص
الاسطوانات في الدرس الثالث والثامن من الجزء الاول وكذلك خواص
المخروط في الدرس الرابع عشر منه)

فاذا كان المطلوب صناعة عجلات ذات قطر كبير لزم مزيد الالتفات الى القواعد
الهندسية في صناعة الاضراس لانها من الامور المهمة ولا بد ايضا أن تكون
العجلات دائرة على وجه بحيث تنطبق نقط الضرسين المتماسين على بعضها
كانطباق عجلتي العربة على الارض بدون أن تتزحلق احداهما وتحتك على
الاخرى حتى يكون سيرها على وفق المرام من سرعة او بطئ

وهنالك مؤلفات في علم الميكانيكا تشتمل على حل مثل هذه المسائل حلا تاما
فمن اراد ذلك فعليه بها (منها رسالة الآلات للمهندس هاشيت وهي
رسالة جليلة نافعة)

وعوضا عن استعمال عدد قليل من الاضراس الكبيرة البارزة القصيرة كما كان
ذلك سابقا استصوب استعمال عدد كثير منها وجعلها قليلة البروز
والعرض طويلة عن المتقدمة ليكون لها صلابة كافية فيسهل حينئذ رسم صورة

الاضراس و يكفى فى ذلك أن يكون جانبها على صورة مستطيل زواياه البارزة منفرجة قليلا وتكون مستديرة استدارة خفيفة فى الواجهتين العموديتين على محيط العجلة وهذه الآلة عند تحركها فى مبدء الامر تبرى الاجزاء البارزة جدا وان لم يذكر ذلك فى النظريات لكنها بالاستعمال تصير مستحسنة لطيفة واغلب صناع الآلات والساعات الكبيرة يسلكون هذا المسلك فى طاراتهم المضرسة الاعتيادية غير أن استدارة هذه الطارات تكون تامة

فيستعمل صناع الساعات الكبيرة طارات لاضراسها صور متنوعة ومتباينة بالكلية منها ماهو على شكل محيط اسطوانة (شكل ١٧) ولطارات الحجز اوالمنع (شكل ١٦) (وهى آلات تدير الى جهة وتمنع الدوران الى اخرى) اضراس مسننة ومائلة الى ذراع الرافعة الذى يمنع العجلة عن الرجوع والتأخر واذا حصل عند التأخر والرجوع ضرر كبير اوخطر فى التحرك المستدير لزم المبادرة الى آلة المنع ما لم يستعمل لذلك الحاجز المسمى بالزمام الآتى ذكره فى الدرس الثالث عشر المتعلق بالاحتكاك

وفى الغالب يستعمل التركيب الآتى وهو أن احدى الطارات المضرسة تستبدل باسطوانة مضرسة منيرة تعرف بالفانوس (شكل ١٥) وتتركب هذه الاسطوانة من عدة قضبان مستديرة ومجاورها على بعد واحد من بعضها وتكون على محيط مستدير و يكون فى المسطحين المصنوعين على شكل دائرة ثقوب مربعة تعرف بالعاشق يدخل فيها اطراف القضبان المربعة المعروفة بالمعشوق وحيث ان الفانوس المذكور ليس الا طارة مضرسة فان نسبة القوة للمقاومة تقوم بمقتضى القاعدة المطردة التى سبق توضيحها

والكريك وهى نوع من المنجنون (شكل ١٨) آلة يكون محور طارتها المضرسة وهو ا ب ثابتا واما قضيبها المستقيم المضرس وهو ه ف فانه يكون متحركا بواسطة العجلة

ويوجد فى الكريك البسيطة مانويلة كمانويلة ث ب ب تحرك بها

طارة آ المضرسة المتعشقة بقضيب ه‍ف المضرس وفي هذه الآلة

تكون نسبة القوة الى المقاومة هي $\frac{ح}{ر} = \frac{ثَ}{ثا}$ ونرى في هذا

التساوي أن $\frac{ثَ}{ثا}$ هي نسبة المسافتين المقطوعتين في زمن واحد بالقوة

والمقاومة

واما الكريك المركبة (شكل ١٩) فلها مانويلة تؤثر على الترس الصغير الاول المتعشق بالعجلة التي على محورها ترس صغير ثان متعشق مباشرة بقضيب الكريك وبجعل د و دَ رمزين الى نصفي قطري المانويلة والعجلة و ى و ىَ رمزين الى نصفي قطري الترسين المذكورين يحدث معنا في هذه الحالة الجديدة شرط التوازن وهو

$$ح \times د \times دَ = ر \cdot \times ى \times ىَ$$

مثلا اذا كان د ثلاثة امثال ى و دَ ثلاثة امثال ىَ تحصل معنا $٣ \times ٣ ح = ١ \times ١ ر$ او $٩ ح = ر$ فاذن تكون قوة ح موازنة لقوة اكبر منها ٩ مرات واما في الابعاد التي يقع فيها القضيب المضرس مباشرة على الترس الصغير الاول فان قوة ح لا تكون موازنة الا لقوة اكبر منها ٣ مرات غير انه اذا اريد تحصيل التحرك يلزم أن قوة ح تقطع ٩ مرات مقدارا من المسافة اكثر من المقاومة

(الدرس الحادي عشر)

في بيان التوازن على المستويات الثابتة والمستويات المائلة وسكك الحديد التي مستوياتها مائلة

قد اعتبرنا فيما تقدم نقطة ثابتة في توازن الرافعة ومستقيما او محورا ثابتا في توازن قرص البكرة والمنجنون وما شاكلهما ولنبحث الآن عن توازن القوة المؤثرة على مستو ثابت بفرض هذا المستوى مصقولا صقلا جيدا فنقول

لكيلا يحصل ادنى تحرك من قوة ح ث (شكل ١٠) الدافعة لنقطة ث المادية على مستوى اب الثابت يلزم أن تكون هذه القوة عمودية على المستوى المذكور

فاذن اذا كانت القوة المذكورة عمودية على المستوى الثابت فان النقطة المادية لا تتحرك فى جهة اكثر من اخرى مضادة لها بل تبقى ساكنة حيث ان كل شئ يصير متماثلا فى اتجاه القوة وفى شكل المستوى المعتبر فى سائر الجهات وإذا كانت قوة ح ث المذكورة مائلة (شكل ٢) امكن حلها الى قوتين احداهما وهى ث خ متجهة على المستوى المتقدم والاخرى وهى ث ح عمودية على هذا المستوى وحيث ان تأثير هذه القوة الاخيرة منعدم بالمستوى المذكور لم يبق الا قوة ث خ وحدها فتؤثر فى اتجاه ث ا ولا يحصل لها ادنى مقاومة وبذلك لا يمكن حصول التوازن

ولنفرض الآن أن هناك عدة ما من القوى مثل ث ح و ث خ و ث ز الخ (شكل ٣) كلها دافعة لنقطة ث المادية على مستوى اث ب فيلزم جعل كل قوة منها فى طرف الاخرى بدون أن يتغير اتجاهها ثم يغلق مضلع القوى بمستقيم آخر يدل مقدارا واتجاها على محصلة هذه القوى فحينئذ لا يحصل التوازن (شكل ٣) الا فى الصورة التى تكون فيها ث ز اعنى محصلة سائر القوى المذكورة عمودية على المستوى الثابت فاذا لم يحصل التوازن فان نقطة ث المادية (شكل ٤) تتحرك على طول المستوى الثابت كما لو كانت مدفوعة بقوة ث ر المنفردة المساوية لمسقط محصلة ث ر على المستوى الثابت

ولنفرض بدلا عن النقطة المادية جسم ث ه ف (شكل ٥) المدفوع على المستوى الثابت بقوة ح فيلزم أن يكون اتجاه ح مارا بنقطة ث متى كانت هذه النقطة وحدها مشتركة بين المستوى والجسم لانه اذا فرضنا أن قوة ح تمر بنقطة اخرى من نقط المستوى الثابت كنقطة ث

واوقعنا

واوقعنا هذه القوة في نقطة الجسم وهي د القريبة بالكلية من المستوى الثابت على حَ ث لم يكن هناك مانع يمنع قوة ح من دفع نقطة د حتى تمس المستوى فتجذب حينئذ جسم ث ه ف كله فاذن لا يحصل التوازن

ولابد أن تكون قوة ح ث دائما عمودية على المستوى الثابت حتى لا تنحل الى قوتين احداهما عمودية يعدمها المستوى والثانية متجهة الى جهة ذلك المستوى من غير أن يعارضها شئ

فاذا اثرت عدة قوى في الجسم لزم أن تمر محصلتها بنقطة ث وأن تكون دائما عمودية على المستوى الثابت ليبقى الجسم متوازنا دائما •

فاذا فرضنا الآن أن الجسم يمس المستوى في نقطتي آ و ب (شكل ٦) لزم أن تكون المحصلة الكلية لسائر القوى المؤثرة في الجسم منحلة الى قوتين تمران بالنقطتين المذكورتين •

وبالجملة فليكن ر ر هو المسقط الرأسي (شكل ٦) لمحصلة سائر القوى وليكن ش ا و ش ب و ش ر المساقط الافقية لاوضاع نقطتي آ و ب الثابتتين ونقطة ر التي تلاقي فيها المحصلة المستوى الثابت

فيمكن أن نمد اولا من ش ب ، ش ر مستقيم ش ب ش ر ش ث ونحل قوة ر ر الى قوتين موازيتين لقوة ر ر احداهما وهي ح واقعة على ب والاخرى وهي خ واقعة على اى نقطة كانت مثل نقطة ث من مستقيم ب ر ث وحيث ان قوة ح عمودية على المستوى الثابت ومارة بنقطة ب التي يكون فيها الجسم مماسا للمستوى لا يمكن أن يتغير توازن المستوى فلم يبق حينئذ الا قوة خ التي لا يدور بها الجسم الا اذا لم تكن نقطة ث مشتركة بين هذا الجسم والمستوى الثابت مالم تكن نقطة ث المذكورة موجودة

بين آ و ب لانها اذا كانت موجودة خلف واحدة منهما ربما قلبت الجسم الى تلك الجهة

ولنفرض جسما مستندا من نقطه الثلاثة وهى آ و ب و ث (شكل ٧) على مستو ثابت ونصل بين تلك النقط الثلاث بمستقيمات اب و بث و ثا فلاجل أن يكون الجسم الواقع عليه تأثير قوة ما كقوة ح ع متوازنا يلزم اولا أن تكون هذه القوة عمودية على المستوى الثابت وثانيا أن لا تكون النقطة التى تلاقى فيها تلك القوة المستوى الثابت موضوعة خارج مثلث اب ث لانه بدون ذلك لا شئ يمنع القوة عن ايقاع الجسم من الجهة التى تكون هى موجودة فيها

فاذا كان للجسم المستند على المستوى الثابت عدة نقط بدلا عن نقط الارتكاز الثلاث لزم أن نصل بين كل نقطتين منها بمستقيم بحيث يحدث من ذلك شكل مضلع مغلوق انغلاقا تاما خال عن الزاوية الداخلة فحينئذ تكون شروط توازن الجسم المدفوع بالقوة هى اولا ان تكون هذه القوة عمودية على المستوى الثابت وثانيا أن لا يكون اتجاهها الممتد الى المستوى الثابت خارجا عن المضلع المذكور

واذا اعتبرنا تثاقل الاجسام عند اقترانها ببعضها وعند حساب موادالالات كانت صور التوازن المتنوعة على غاية من الوضوح

وماذكرناه فى شأن الاجسام الموضوعة على المستويات يجرى كله فى الاجسام الموضوعة على سطوح ايا ما كان شكلها سواء كانت تلك الاجسام مركبة من اجزاء مستقيمة او منحنية ويلزم دائما أن تكون محصلة القوى المؤثرة فى الجسم منحلة الى قوى مارة بنقط الارتكاز وعمودية على السطح الثابت وكذلك يلزم أن لا تكون هذه المحصلة مارة من خارج المضلع الخالى عن الزوايا الداخلة الحادث من المستقيمات الواصلة بين نقط الارتكاز

وفى الفنون عمليات كثيرة جارية على حسب تلك القواعد * مثلا يلزم لاجل

توازن

توازن قلم النقش عند دفعه باليد على اى سطح كان أن يوجه عموديا على هذا السطح حتى لا يتزحلق وأن يكون دفع القوة له فى اتجاه رأسه الى سنه والا وقع او تزحلق

فاذا كان الجسم مدفوعا على مستو ثابت وكان مستندا عليه با كثر من ثلاث نقط لزم أن نراجع فى هذه المسئلة القواعد المقررة فى شأن هذا الجسم وما ماثله لنعلم القوانين التى يحصل بها تدارك الضغط الواقع من الجسم فى كل نقطة من نقط تلاقيه مع المستوى الثابت

وذلك لان هنالك صورة شهيرة يتبين فيها مقدار هذا الضغط بلا واسطة وهى التى يتكون فيها من جميع نقط التماس على المستوى الثابت شكل منتظم وتكون فيها القوة الدافعة للجسم على ذلك المستوى متجهة الى جهة بحيث تمر بمركز هذا الشكل واذا فرضنا أن الجسم متماثل بالنسبة للمستويات التى تمر على الناظر بمحاور تماثل المضلع او الشكل المنتظم الحادث من نقط التماس كان الضغط الواقع على كل من هذه النقط واحدا فعلى ذلك يكون الضغط الواقع على كل جزء من اجزاء سطح التماس مساويا للقوة الدافعة للجسم على المستوى الثابت مقسومة على عدد هذه النقط

ويكثر فى الفنون استعمال عدة عظيمة من الاجسام الموضوعة على المستويات الثابتة فى نقط موضوعة وضعا مرتبا على حسب ما تقتضيه قواعد التماثل المذكورة آنفا

وقد يسند الانسان وغيره من الحيوانات ذوات الارجل ثقل اجسامهم على ارجلهم المتماثلة التى مستوى تماثلها هو عين مستوى الجسم فعلى ذلك يكون الضغط الواقع على كل رجل واحدا * وفى الامور الصناعية يجعل لاغلب الاشيا المستعملة ثلاث نقط او اربع من نقط الارتكاز ويطلق على اجزاء الجسم التى تباشر الارض اسم الارجل لعلاقة المشابهة بينها وبين الارجل الحقيقية لانها فى الغالب تكون على صورة رجل الانسان او غيره من الحيوانات

وذوات الارجل الثلاث هى كاسمها آلة مركبة من ثلاث ارجل فاذا كانت

صورتها مستوفية لشروط التماثل المتقدمة كان الضغط الحاصل لكل رجل على المستوى مساويا للثلث القوة التي تدفع ذات الارجل الثلاث دفعا عموديا على المستوى المذكور والتختات والاسرة لها ارجل اربع وهي مستوفية لشروط التماثل المتقدمة وبناء على ذلك يقع على كل رجل من تلك الارجل الاربع ربع الضغط الواقع عموديا على المستوى الثابت باى قوة كانت

وهناك اشياء تحملها مستويات ثابتة على خطوط متواصلة منتظمة ففي صورة ما اذا استوفى الجسم شروط التماثل يكون الضغط الواقع على جميع نقط هذه الخطوط واحدا وعليه فيكون الضغط الواقع على كل واحدة منها على نسبة منعكسة عن نسبة طولها الكلى

ويستعمل في الفنون غالبا سطوح الدوران فتوضع على مستوى م ن الثابت (شكل ٨) وتكون مماسة لهذا المستوى على شكل دائرة ا ب ث الموازية له فاذا كانت القوة التي تضغط السطح على المستوى تضغط هذا السطح ايضا على محوره كان بالضرورة الضغط الواقع على جميع نقط دائرة التماس واحدا هذا ولم نتوغل في بيان تطبيق هذه العمليات على الصناعة

ولنفرض أن جسم ب ث ف (شكل ٩) الموضوع على مستويين ثابتين كمستوى ١ و ٢ يكون مماسا لهما في نقطتي ب و ث فلاجل أن يكون هذا الجسم الواقع عليه تاثير قوة ا ح متوازنا يلزم بالضرورة اولا أن نحلل هذه القوة الى قوتين متجهتين على حسب مستقيمي ح م و ح ن المارين بنقطتي الارتكاز وهما ب و ث وثانيا أن يكون ح م عمودا على مستوى ١ و ح ن عمودا على مستوى ٢

فاذا توفرت الشروط انعدمت قوة ح م بمستوى ١ الثابت وقوة ح ن بمستوى ٢ الثابت وبذلك يحصل التوازن

ولا يمكن حصول التوازن فيما عدا ذلك لان المقاومة الحاصلة من كل مستو متجهة على العمود الواصل بين نقطتي ارتكاز الجسم على هذا المستوى فيلزم

إذن ان تكون المقاومتان المتجهتان بهذه المثابة موازنتين للقوة لكن لاجل توازن ثلاث قوى يلزم أن تكون من مبدأ الامر متقابلة في نقطة واحدة وعلى ذلك فلابد في سائر احوال الجسم المدفوع بقوة على المستويين المماسين له في نقطة واحدة من أن يكون المستقيم الذي تؤثر فيه هذه القوة والعمودان القائمان على كل من نقط التماس مارة كلها بنقطة واحدة وحينئذ يعرف الضغط الواقع على كل مستو من متوازي الاضلاع الحادث من هذه الخطوط الثلاثة بأن يؤخذ على الاول منها وتر مساو للقوة

وفي صورة ما اذا كان الجسم مماسا لثلاثة مستويات في نقطة واحدة يلزم أن تكون القوة المذكورة دائما موازنة للقوى الواقعة في النقط المتقدمة على الخطوط العمودية على هذه المستويات والدالة على المقاومات المؤثرة في المستويات وليس بلازم أن تكون سائر اتجاهات المقاومات متقابلة في نقطة واحدة

ولنفرض جسم $\overline{م ب}$ (شكل ١٠) الواقع عليه تأثير قوتي $\overline{ح}$ و $\overline{خ}$ اللتين يتقابلان في نقطة ا ويكونان متوازنتين حول نقطة الارتكاز وهي $\overline{ث}$ على مستوى $\overline{س ص}$ الثابت ونفرض ايضا بدون أن يتغير وضع نقطة الارتكاز المذكورة أن وضع $\overline{ث ا}$ مختل قليلا بأن ندير $\overline{ث ا}$ حول نقطة $\overline{ث}$ فاذا مددنا عمودي $\overline{ث د}$ و $\overline{ث ه}$ على $\overline{ا ح}$ و $\overline{ا خ}$ امكن اعتبار $\overline{د ث ه}$ كرافعة منكسرة وبموجب ما تقرر في شأن الرافعة تكون مسافة $\overline{د ء}$ التي تقطعها نقطة ء ومسافة $\overline{ه ه}$ التي تقطعها نقطة ه عند اختلال الجسم قليلا مناسبتين لقوتي $\overline{ح}$ و $\overline{خ}$ المقابلتين لهما بمعنى انه يحدث

$\overline{ح} : \overline{خ} :: \overline{ه ه} : \overline{د ء}$ ويحدث من ذلك $\overline{ح} \times \overline{د ء} = \overline{خ} \times \overline{ه ه}$

ويمكن في هذه الصورة استعمال قاعدة السرعة المنبهة

وحيث كانت جميع الاجسام مدفوعة دائما بقوة التثاقل لزم أن تكون الاجسام الموضوعة على المستويات مستوفية للشروط السابقة حتى تبقى على توازنها فاذا افرضنا أن اى قوة تحرك الجسم الموضوع على مستو ثابت ولا تمسكه بحيث يبقى على توازنه لزم أن يكون هذا المستوى عمودا على اتجاه التثاقل اعنى على الخط الرأسى

ويلزم حينئذ أن يكون هذا المستوى الثابت افقيا ليكون الجسم الموضوع عليه متوازنا من غير أن يكون هناك قوة تحركه او تمسكه وهذا هو السبب فى كثرة استعمال المستويات الثابتة الافقية فى الفنون فمن ذلك تخشيبات المنازل الفرنجية المستعملة عندهم بدلا عن البلاط فانها تجعل افقية ليكون ما يوضع عليها من الامتعة متوازنا وكذلك الانسان فانه لا يتزحلق ولا يسقط من جهة الى اخرى ويمثل هذا السبب جعلوا مستويات التختات والرفوف افقية ايضا

فاذا كانت محصلة ثقل الجسم مارة دائما بمركز ثقله لزم أن تكون مستوفية لجميع شروط التوازن ليكون الجسم المخلى لتثاقله والموضوع على مستو افقى باقيا على توازنه

ويفتج من ذلك اولا انه اذا كان الجسم الموضوع على المستوى لا يمسه الا فى نقطة واحدة لزم أن يكون الخط الراسى الممتد من هذه النقطة مارا بمركز ثقل هذا الجسم

وثانيا انه اذا كان الجسم الثقيل يمس المستوى الثابت فى نقطتين يلزم أن يكون الخط الرأسى الممتد من مركز ثقل هذا الجسم مارا بالمستقيم الواصل بين نقطتى تماس الجسم مع هذا المستوى الثابت

وثالثا انه اذا كان الجسم الثقيل يمس المستوى الثابت فى اكثر من نقطتين يلزم أن الخط الرأسى الممتد من مركز ثقل هذا الجسم لا يمس المستوى الثابت فى نقطة واحدة موضوعة خارج المضلع الخالى عن الزوايا الداخلة الحادث من المستقيمات التى يصل كل واحد منها بين نقطتين من نقط تلاقى الجسم مع المستوى

الثابت المذكور

ولنرجع الى موضوعنا وهو ما اذا كان الجسم مستندا على نقطة واحدة ومتوازنا فنقول مما يسهل علينا مشاهدته أن كل جسم كروى مثل ا ب ث (شكل ١١) متجانس المادة تثبت له هذه الخاصية وهى انه اذا وضع على مستوافقى كان متوازنا فيه بالضرورة لان مركز ثقل هذا الجسم يتحد حينئذ بمركز شكله ويكون كل نصف قطر مثل غ ح ث عمودا على مستوى م ن الافقى الذى يمس الكرة فى نقطة ث فاذن يكون مستقيم غ ح ث العمودى على مستوى م ن الافقى رأسيا وحينئذ تكون قوة غ ح المكافئة لتأثير ثقل هذا الجسم على م ن مستوفية لسائر الشروط التى لا بد منها فى التوازن

ولنأخذ جسما مثل ا ب ث (شكل ١٢) له صورة كالسحقة يكون حادثا من دوران قطع ناقص حول محوره الكبير فاذا وضع هذا الجسم على مستوافقى بحيث يكون المحور الكبير وهو ا ب افقيا كان التوازن حاصلا لان غ الذى هو مركز ثقل هذا الجسم المتجانس المادة فرضا يتحد بمركز شكله كما فى الجسم الكروى ويكون خط ح غ ث الرأسى الممتد من المركز مارا بنقطة ث التى يكون فيها الجسم مماسا للمستوى الافقى

ويحصل التوازن ايضا اذا وضع جسم ا ب ث على وجه بحيث يكون المحور الكبير وهو ا غ ب (شكل ١٣) رأسيا لان محصلة ثقل هذا الجسم اذا كانت مارة بمركز غ كانت مارة ايضا بنقطة ا

ولكن هنالك فرق ظاهر بين حالتى التوازن وهو انه اذا تغير وضع هذا الجسم قليلا (شكل ١٢) تحرك فورا حتى يصل الى الوضع الذى يحصل فيه التوازن واذا تغير وضع الجسم (شكل ١٣) قليلا تباعد عنه شيأ فشيأ حتى يسقط

وقد يكون التوازن الاول ثابتا والثانى غير ثابت ويكنى بالثابت وغير الثابت

عن القوة التي تقرب بها الاجسام او تبعد من اوضاع توازنها عند تحولها عن تلك الاوضاع

(ويمكن بواسطة ما اسلفناه من النتائج حل هذه المسئلة وهي أن نفرض جسمين كجسمي اب ث و ا ـ ث (شكل ١٦) توازنهما غير ثابت وموضوعين على مستوى م ن بحيث يكون خطا ا غ و ا غ رأسيين والمطلوب تحصيل الشروط التي لابد منها في توازن هذين الجسمين المنحرفين عن وضع توازنهما وان كانا مستندين على بعضهما في نقطة د فلاجل مزيد السهولة نفرض أن هذين الجسمين متساويان بالكلية وأن ميلهما واحد وليكن ح رمز الثقلهما

فيكون كل منهما مماسا للآخر على مستو رأسي ويحدث من كل منهما على الآخر ضغط واحد كضغط س = سـ وليكن الآن غ ه و غ ه هما الرأسيان النازلان من نقطتي غ و غ اللتين هما مركزا ثقل هذين الجسمين ولتكن ث و ث هما نقطتا تلاقيهما مع مستوى م ن فيكون مقدار ح بالنسبة الى جسم ب ث د هو ح × ث ه وبالنسبة الى جسم ـ ث د هو ح × ث ه وهذان المقداران متساويان لكن حيث ان س و سـ هما كناية عن الضغط الحاصل من كل من الجسمين على الآخر فاذا انقنا من نقطتي الارتكاز وهما ث و ث عمودي ث س و ث سـ على هذين الجسمين حدث س × ث س = سـ × ث سـ وهو المقدار المتحصل من هذا الضغط

وحينئذ يلزم أن يحصل في حالة التوازن

ح × ث ه = س × ث س = ح × ث ه = سـ × ث سـ

فاذا كانت الاجسام ثلاثة فان حل المسئلة يكون على الوجه السابق بأن نجعل مقدار ح × ث ه الذي هو مقدار كل جسم منها متوازنا مع

الضغط

الضغط الحاصل من كل من الثلاثة على الآخرين

ويحل العساكر هذه المسئلة بوجه آخر عملى وذلك انهم يضمون ثلاث بنادق الى بعضها فاذا توازن كل منها على ث التى هى زاوية الكعب لم يكن توازنه ثابتا بخلاف ما اذا تقاطعت السنج بحيث يحصل من طرف كل منها ضغط على الاخرين فان التوازن يكون ثابتا وحساب الضغط الحاصل من كل بندقة على الاخرين ليكون التوازن حاصلا فى هذا الوضع هو على غاية من السهولة)

ولنختبر قياس القوة التى توصل الجسم المفروض الى حالة التوازن او تبعده عنها بأن نبدأ بالوضع الاول فنقول اذا فرض أن محور اب الكبير يميل قليلا كما فى (شكل ١٤) بحيث لا يكون مماسا للمستوى الافقى فى نقطة ث وانما يكون مماساله فى نقطة د فلا يكون حينئذ مح غ ث اتجاه محصلة ثقل الجسم بل يكون اتجاهها هو ح غ ى

فاذا اثرت الآن قوة ح = ح فى جسم اب وادارته حول نقطة الارتكاز وهى د بواسطة ذراع رافعة يساوى د ى فان المقدار الذى به يخفض ثقل الجسم جزء غ ا ث ويرفع جزء ب ث غ يساوى ح × د ى لكن حيث كان ح الذى هو ثقل الجسم باقيا على حالة واحدة فكلما تباعد الجسم المذكور عن الوضع الاصلى كبر ى د وكلما كبر مقدار ح × ى د فان الجسم حينئذ يعود مع الشدة الى وضعه الاصلى فاذا خلى ونفسه وصل بطبعه الى الوضع الذى يكون فيه متوازنا وهذا التوازن هو المعروف بالتوازن الثابت

فاذا اقمنا مستقيم د غ و الرأسى حتى يصل الى مستقيم ث غ ح الذى هو رأسى فى وضع التوازن ثم مددنا خط غ غ الافقى حدث د ى = غ غ فعلى ذلك يكون ح × غ غ مساويا للمقدار الذى يأخذ به الجسم وضعه الاصلى واذا فرضنا أن زاوية غ و غ صغيرة

جدا امكن أن نعتبر أن غ غ مساو للقوس المرسوم بنصف القطر و ه
و غ بين و غ ث , و غ د من نقطة و المعتبرة مركزا
ثم ان نقطة و هى التى تعرف عند المهندسين بنقطة مركز انتصاب الجسم
لجسم اث ب فعلى ذلك اذا كان التوازن ثابتا كان مركز الانتصاب
فوق مركز الثقل دائما وفى صورة ما اذا كان لميل الخط الرأسى الجديد وهو
و د على الخط الرأسى الاصلى وهو و ث درجة ثابتة يكون قوس
غ غ مناسبا لنصف القطر فاذن يكون مقدار ح × غ غ
مناسبا ايضا لنصف قطر غ و ومساويا لبعد مركز الثقل ولمركز الانتصاب
وحينئذ يؤخذ من هذا البعد قياس ثبات الاجسام

والتكلم على الوضع الثانى فنقول اذا فرضنا انه بعد وضع جسم اث ب
على ا التى هى طرف محوره الاكبر انحرف عن وضع توازنه قليلا كما فى
(شكل ١٥) الذى فيه نقطة د الجديدة هى نقطة تلاقى الجسم مع
المستوى الافقى فاذا مددنا خط غ د الرأسى فانه يقع خارج نقطتى
ا , د ويحدث معنا لقياس القوة التى بها يجذب ثقل ح الجسم
حتى يسقط هذا المقدار وهو ح × د د = ح × غ غ
وفى هذه الصورة كالتى قبلها اذا كانت زاوية غ و غ صغيرة جدا امكن
أن نعتبر أن غ غ قوس مركزه نقطة و فيكون حينئذ نصف قطر
و غ مناسبا لبعد غ غ = د د بالنظر لميل محور اب
بالنسبة للخط الرأسى

ونقطة و المعروفة بمركز الانتصاب فى هذه الصورة تكون تحت مركز الثقل
لا فوقه

وبالجملة فبعدها عن مركز الثقل يستعمل لقياس عدم ثبات الاجسام الثابتة
كما استعمل فى الصورة السابقة (شكل ١٤) فى قياس ثبات جسم
اث ب الموضوع على مستوى م ن

فاذا

فاذا اتحد مركز الانتصاب وهو $\overline{و}$ بمركز الثقل وهو $\overline{غ}$ لزم اتحاد خطى $\overline{و د}$ و $\overline{غ ى}$ الرأسيين ببعضهما الا انه فى هذه الصورة يكون الخط الرأسى المار بمركز الثقل المذكور مارا ايضا بنقطة الارتكاز وهى $\overline{د}$ وينعدم بعد $\overline{د ى}$ وعليه فيكون مقدار $\overline{ح} \times \overline{د ى} = ٠$ فاذن لا يكون هناك جهد يتحرك به الجسم فيبقى متوازنا

وبالجملة فمتى اتحد مركز الانتصاب بمركز الثقل كان التوازن باقيا على حاله بعد انحراف الجسم ويسمى التوازن فى هذه الحالة بالتوازن الموافق فاذا كان مركز الانتصاب فوق مركز الثقل فان الجسم اذا اختل وضع توازنه يعود الى وضعه الاول فيكون التوازن حينئذ ثابتا واما اذا كان تحته فان الجسم اذا اختل وضع توازنه يبعد عن هذا الوضع شيأ فشيأ ويكون التوازن حينئذ غير ثابت

وفى جميع هذه الاحوال يكون قياس الثبات او غير الثبات معلوما من حاصل ضرب ثقل الجسم فى بعد مركز الثقل عن مركز الانتصاب المعتبر هنا مركز الانحناء قوس $\overline{ا د}$ المرسوم على الجسم بين $\overline{ا}$ و $\overline{د}$

وبذلك تكون خواص ثبات الاجسام المتحركة على المستويات الثابتة من قبيل خواص انحناء السطوح (كما تقدم فى الدرس الخامس عشر من الجزء الاول) واذا كان الابتداء من نقطة ثابتة كان انحناء الجسم متماثلا بالنسبة لاتجاهين عمودين على بعضهما وكان ثبات الجسم على مستوافقى متماثلا ايضا بالنسبة لاتجاهين عمودين على بعضهما وكان احد هذين الاتجاهين هو اتجاه الثبات الاكبر والآخر اتجاه الثبات الاصغر وكان الثباتان المتوسطان متساويين متى كانا مأخوذين بالنسبة لمحورين افقيين ويحدث بينهما وبين اتجاه الثبات الاكبر زاويتان مساويتان للزاويتين الواقعتين بينهما وبين اتجاه الثبات الاصغر وهلم جرا

ويؤخذ من هذه المسئلة النظرية المتعلقة بثبات الاجسام المنحرفة قليلا عن وضع توازنها تطبيقات مهمة تتعلق بمعيشة الاهالى وثروتهم وشرف الدولة

وقوة شوكتها فمن ذلك السفن التي يكون توازنها ثابتا على البحر فانها تسير امنة لاجل جلب ادوات الصناعة اوالذب عن الوطن بخلاف ما اذا كان توازنها غير ثابت فانها ربما انقلبت وصار عاليها سافلها وغاصت في قاع البحر بمن فيها من الملاحين والعساكر والنظرية ثبات السفن مزيد تعلق بالقواعد التي ذكرناها آنفا غير أن كمالها يتوقف على قواعد اخرى مبنية على قوة السوائل (راجع مبحث القوى المحركة في الجزء الثالث من هذا الكتاب)

ولما انهينا الكلام على توازن الجسم فوق المستوى الافقي وجب أن نشرع في الكلام على توازنه فوق المستوى المائل المعروف في اصطلاحهم بالمستوى الذي ليس افقيا ولا رأسيا فنقول

يقاس ميل هذا المستوى بالزاوية الحادثة منه مع المستوى الافقي وبموجب الهندسة (كما في الدرس السابع من الجزء الاول) يتوصل الى قياس تلك الزاوية الحادثة من المستويين المذكورين بقياس الزاوية الحادثة من خطين مستقيمين احدهما على المستوى الافقي والثاني على المستوى المائل وكلاهما ممتد من نقطة واحدة امتدادا عموديا على تقاطع المستويين

ولنجعل خط $\overline{\text{م ن}}$ الافقي كناية عن المستوى الافقي (شكل ١٧) ومستقيم $\overline{\text{ا ث}}$ كناية عن المستوى المائل وهذان الخطان يحدث عنهما زاوية مماثلة للزاوية الحادثة بين المستويين المذكورين

ولنضع جسما ما كان كجسم $\overline{\text{س}}$ على $\overline{\text{ث ا}}$ فان لم يكن هنالك قوة اجنبية تمسكه امكن حل ثقله وهو $\overline{\text{غ ح}}$ الى قوتي $\overline{\text{غ غ}}$ و $\overline{\text{غ ح}}$ اللتين احداهما موازية للمستوى المائل والاخرى عمودية عليه وينعدم تأثير القوة الثانية اذا لم يقع عمود $\overline{\text{غ ح}}$ خارج المضلع الحادث من وصل نقط التماس بعضها بواسطة خطوط مستقيمة فيمكن حينئذ أن يطبق على تلك القوة سائر ما ذكر في شأن التوازن الثابت وغير الثابت والموافق المتعلق بالاجسام المستندة على المستويات الافقية

واما

واما قوة غ غ فحيث انها مؤثرة بالتوازي لمستوى ث ا لايحصل لها مقاومة ما من هذا المستوى فان لم تكن هنالك قوة اجنبية تعارضها زحلقت الجسم على طول المستوى المائل

ثم ان نسبة المسافة التي يقطعها هذا الجسم على المستوى الى المسافة التي كان يقطعها في زمن واحد عند سقوطه بلا معارض على غ ح كنسبة قوة غ خ الجاذبة للجسم بالتوازي لمستوى ا ث الى قوة غ ح الجاذبة له جذبا رأسيا

واما ان تحرك الجسم بواسطة قوة غ غ اوكان ممسكا بقوة غ غَ المساوية لها والجاذبة له في جهة مقابلة لجهتها فانه متى اريد حصول التوازن يلزم ان يكون عمود غ ح واقعا على النقطة التي يكون فيها الجسم مماسا لمستوى ا ث المائل اذا لم يكن هنالك الا نقطة تماس واحدة فاذا كان هنالك عدة نقط لزم أن يقع ذلك العمود في المضلع الخالي عن الزوايا الداخلة الحادث من وصل كل نقطتين من النقط التي يكون فيها الجسم مماسا للمستوى المائل وهذه القضية النظرية لها فائدة عظيمة في تطبيقها على ثبات العربات الساكنة او المتحركة

واذا كان جسم كجسم غ (شكل ١٨) متوازنا على مستوى ا ث المائل بواسطة قوة واحدة كقوة غ خ الموازية لهذا المستوى لزم اولا عند تحليل غ ح الذي هو ثقل الجسم الى قوة غ ع و غ غ أن قوة غ ع المؤثرة بالغرض في ا ث تأثيرا عموديا تجعل ذلك الجسم المجرد عن التثاقل بالفرض متوازنا على ا ث وثانيا أن قوة غ غ تمر بمركز الثقل وهو غ فيحدث اذن هذا التناسب وهو

قوة خ : قوة ح :: غ غ : غ ع

فاذا امددنا ن و عمودا على مستوى م ن الافقي كان مثلثا ا ن و و ح غ غ متشابهين ويحدث من ذلك هذا التناسب وهو

$$\overline{\text{او}} : \overline{\text{ن و}} :: \overline{\text{غ ح}} : \overline{\text{غ غ}} = \overline{\text{غ خ}}$$

اعنى أن نسبة نقل الجسم الى قوة غ خ الموازنة له كنسبة او الذى هو طول المستوى المائل الى ن و الذى هو ارتفاعه

واذا كانت قوة غ خ (شكل ١٩) افقية لزم أن تكون غ ح التى هى محصلة قوتى غ ج و غ ح مارة بنقطة ح التى يماس الجسم فيها المستوى فيحدث من ذلك هذا التناسب وهو غ ح : غ خ = ح ع :: م ن : ن و اعنى أن نسبة نقل الجسم الى القوة الموازنة له تكون كنسبة قاعدة المستوى المائل الى ارتفاعه وهذه القضايا السهلة يكثر استعمالها فى علم الميكانيكا

ولنختم هذا الدرس بنبذة مختصرة ملخصة من رحلاتنا الى اربطانيا الكبرى تتعلق بالقوة التجارية والطرق السلطانية اتينا فيها بما لا بد منه فى سكك الحديد ذات الاخاديد والمستويات المائلة المستعملة فى اربطانيا الكبرى لانه لا مانع من ان هذه السكك والمستويات المائلة تكون عظيمة الجدوى فى المعامل المعدة للصناعة بمملكة فرانسا فنقول

ان صناعة سكك الحديد ذات الاخاديد منحصرة فى صورتين متباينتين تباينا كليا احداهما أن يكون النقل حاصلا على اتجاه واحد والثانية أن يكون على اتجاهين متقابلين

واسهل ما فى الصورة الاولى أن ترفع الاحمال المعدة للنقل رفعا رأسيا بواسطة الآلات حتى تصل الى رأس السكة المائلة وهو رأس لا تجاوزه العربات بل تأخذ فى الهبوط عند الوصول اليه

فاذا كان المطلوب هبوطها لاجل توصيل احمالها الى النهيرات او الخلجان او السكك الكبيرة سواء كانت المسافة كبيرة او صغيرة فانه بواسطة السكك المطروقة ذات الاخاديد يسهل النقل مع حصول الفائدة * والكيفية الناجحة فى ذلك أن يعطى ما يلزم من الاخشاب للتجارة وللعمارات الداخلية التى تكون

فى الاماكن

فى الاماكن المرتفعة البعيدة جدًا عن النهر حتى يتأتى بواسطة السكك ذات الاخاديد من غير احتياج الى كثرة الرياح الطيبة وصول تلك الاخشاب الى الخلجان وعومها فيها وهذا من الاغراض المهمة جدًا فى القوة والتجارة البحريتين وفى كثير من فروع الصناعة الفرنجية

ثم ان انفع الانحدارات واكثرها ملايمة للسكك ذات الاخاديد هو ما لا يمنع العربات الموسوقة من اخذ تحرك منتظم بواسطة تأثير اثقالها لا غير فاذا سار الفرس فى هذا الانحدار وكان يجر قطارا من العربات لم يحتج فى ذلك الا الى القوة اللازمة للظفر بانرسى الجسمات التى ينقلها وبالموانع الصغيرة التى تحدث عما يكون فى سكة الحديد من الخشونة والتضاريس الهينة الخفيفة

وينبغى أن يكون عدد العربات الموسوقة التى يجرها الفرس مساويا لعدد العربات الكثيرة الفارغة التى يصعد بها على تلك السكة وعلى ذلك فكلما كبر ميل السكة قل هبوط الفرس بالعربات فى كل مرة من سيره ويؤخذ من ذلك أن هنالك انحدارا انفع مما عداه من سائر الانحدارات وهو ما استعملت فيه قوة الفرس كلها صعودا وهبوطا بدون تلف لشئ وكلما ثقلت العربة الموسوقة لزم أن يكون الميل الذى تبتدئ فيه بالهبوط بنفسها قليلا وأن يكون عدد العربات الفارغة التى يصعد بها الفرس الى هذا الميل كثيرا وحينئذ فاستعمال العربات الكبيرة فى هذه الصورة اكثر نفعا واتم فائدة كعربات ضواحى مدينة نوكاستل التى كل واحدة منها تحمل ٢٫٥٠٠ كيلوغرام ويزن ثقلها ١٫٥٠٠ كيلوغرام فهى اولى من عربات ضواحى مدينة جلاسغوف التى لا تحمل كل واحدة منها الا ٦٠٠ كيلوغرام ولا يزن ثقلها الا ٣٠٠ كيلوغرام

وصندوق هذه العربات (اى عربات نوكاستل) على شكل هرم ناقص مربع مجوف ومكشوف من اعلاه وعرض قاعدته السفلى ١٫٦ م وطولها ٢ م وطول قاعدته العليا من ٢٫٨ م الى ٣ م وعرض كل ضلع من اضلاعه

المائلة على الافق بقدر ٤٥° تقريبا يبلغ ١,٦ م ويوجد فى عمق العربة طاقة معدة لتفريغ وسقها وهى موضوعة فى طرف العربة المقابل للسفن التى يراد وسقها وعليها قدمان من الحديد لاجل سدها يدوران بواسطة لولب وينزلان على الواجهة المائلة التى تكون فى مقدم العربة فيشتبكان هنالك برزتين او مسمارين معوجين فاذا اردنا غلق تلك الطاقة ادخلنا شوحية صغيرة فى حلقتى الرزتين فاذا اخرجناها وخلصنا قدمى الحديد انفتحت بسبب تأثير وسقها وهبط ذلك الوسق بين عجلاتها الاربع

وهنالك طاقات فى مقدم العربة ومؤخرها معدة لربط حبل الشد بها اذا اريد ذلك وقطر عجلات حديد الصب يبلغ ٦ او ٧ دسيمترات وعرضها الافقى ١٥ او ١٦ سنتمترا وبها انثناء داخل دائما فى سكة الحديد وعرض السكة ١٤ او ١٥ دسيمترا

ولنذكر الآن جملة من خواص السكة ذات الاخاديد الشهيرة التى توصل الى شواطئ نهر الوار بقرب سوندرلند فنقول

ان معدن الفحم الذى هو مبدأ تلك السكة بعيد عن المكان الذى ينزل منه الى السفن بقدر ١٠ كيلوميتر تقريبا ولا يوجد فى سائر امتداد هذه الارض التى تقطعها العربة انحدارات عظيمة وانما كان هنالك تلال تعارض العربات قليلا فاحدثوا بها مسلكا لاجل المرور وهذه السكة توصل الى ساحل منحدر يكتنف نهر الوار بواسطة جسر افقى متجه الى الطبقة الاولى من مخزن متسع مبنى فى اعلى هذا الساحل وطول هذا المخزن تقريبا ٥٠ م وعرضه من ٢٥ م الى ٣٠ م ويزيد ارتفاعه عن الاستواء المتوسط من مياه النهر باربعين مترا فاكثر وهو مركب من ثلاثة اجزاء طولية متفرقة عن بعضها بصفين من الاعمدة وكل من سطوح الطبقة الاولى الثلاثة يتصل به سكة من الحديد وكل سطح منها ممتد من اول المخزن الى آخره وابواب المخزن على بعد واحد من بعضها مفتوحة

بين مساند الحديد الموجودة بهذه السكة فاذا اتت العربات موسوقة بالمعدن دخلت فى الطبقة الاولى منه ثم تذهب الى المسطحات المستديرة المنعطفة التى كل مركز من مراكزها على سكة من سكك الحديد الثلاثة فتمال ميلا خفيفا نحو الربع على تلك المسطحات المستديرة ثم يجرها العربجى على السكك الطولية من هذه الطبقة حتى تصير مسامتة لاحد الابواب لاجل تفريغ الفحم المطلوب فى اى مكان من الارض وكل جزء من الاجزاء الثلاثة الطولية من تلك الارض محتو على سكة جديدة من الحديد مبدؤها اول المخزن ونهايتها نهر الوار ومن هذه السكك الثلاثة سكتان يجتمعان عند انفصالهما عن المخزن و يصيران سكة واحدة و بعد ذلك يختلطان بالثالثة و يصير الجميع سكة واحدة ثم تنقسم هذه السكة الى فرعين يختلطان ببعضهما قبل انتهائهما وبعد أن تصل العربات الموسوقة الى مبدأ الانحدار تمر على قنطرة يبلغ انفراجها مائة متر وهى مؤسسة على مجرى عميق ثم تجتاز صخرة يبلغ امتدادها اربعين مترا تقريبا وسكة الحديد فى ذلك كله مركبة من قضبان سمرة فى عدة اخشاب كالشبابيك طولها عشرون مترا

ثم القنطرة المذكورة متخذة من الخشب ومؤسسة كما تقدم على المجرى وجامعة بين الصلابة والخفة وهى كناية عن صوار مغروسة فى الارض غرسا راسيا ومن عوارض ومساند مائلة لتكون صلبة متينة وسطحها مركب من قطع طولية مغطاة باخشاب السفن القديمة الغير المستعملة

فاذا كانت احدى العربات صاعدة والاخرى هابطة تلاقيا فى منتصف السكة وهذا اذا لم يكن هناك الا سكة واحدة واما اذا كان هناك سكتان فان احداهما تسلك سكة غير التى تسلكها الاخرى حتى لا يتعارضا ثم تسلك كل واحدة منهما السكة التى تركتها الاخرى

ويتخلل المسافة التى بين السكتين ملفات محورها الافقى عمود على اتجاه السكة و بهذه الملفات حبل معد لحفظ العربات عند الهبوط واشدها عند الصعود وفى اسفل الطريق تصل العربات الى سطح فوق المكان الذى تكون به السفن

المطلوب وسقها فحما وبمنتصف سكة الحديد ثلاث فرجات وهى افواه اقماع من حديد مائلة بقدر ٤٥° تقريبا

والجزء الاسفل من القمع يتحرك حول لولب افق يضمه الى الجزء الاعلى منه واما اثناآت الجزء المتحرك فهى متعشقة باثناآت الجزء الثابت وبذلك لا يسقط الفحم الى جهة اليمين ولا الى جهة الشمال ولاجل غلق الجزء الثابت من القمع يستعمل حاجز رأسى فيرفع او يخفض اذا اريد ذلك بتأثير الرافعة وذلك انه يوجد فى كل من طرفى القمع عيارات تؤثر من اعلى درابزين من الخشب قريب من سمت الحاجز واما الحبل المعد لحفظ كل عيار فهو ملتف على اسطوانة منجنون موضوع على الدرابزين به يرتفع الجزء المتحرك من القمع او ينخفض وبهذه الكيفية يوضع دائما الطرف الاسفل من الجزء المتحرك على بعد ملايم للفرجة التى توسق منها السفن سواء ارتفعت السفينة بالمد او انخفضت بالجزر

(بيان المستويات المائلة)

تطلق هذه المستويات على اجزاء السكة ذات الانحدار العظيم المحتاج الى اعانة الآلات لاجل صعود العربات او هبوطها وصناعة هذه المستويات مشابهة لصناعة الاجزاء الاخر من سكك الحديد ذات الاخاديد

ولنذكر لك هنا طريقة ميكانيكية يعرف بها صعود العربات على المستويات المائلة الموجودة بضواحى مدينة نوكاستل ببلاد انكلتره فنقول

يوجد فى اعلى المستوى المائل مكان صغير مركب من حائطين احداهما عن يمين السكة والاخرى عن شمالها وعليهما سقف وفى داخلهما تحت هذا السقف طارة كبيرة من الخشب افقية موضوعة على شواح متعرضة وبها حلق ملتف عليه حبل ليس مفرطا فى الطول بل بقدر المسافة التى تقطعها العربة الموسوقة عند هبوطها ويوجد تحت هذا الحبل على محيط الطارة الحاجز المعروف بالزمام وهو اقرب شبها بزمام طواحين الفلمنك الذى يمكن للانسان وحده أن يحركه بواسطة رافعة وهذا الحاجز مربوط على ارتفاع لائق بسلاسل رأسية معلقة بشواحى المكان المذكور ومتى وصلت العربة الموسوقة الى مبدأ الانحدار وجد العربجى

هنالك

هذه العربة اخرى فارغة قريبة منه جدا فيفك حينئذ طرف حبل الشد الذى كان اعده لصعود هذه العربة الفارغة ثم يفوت الحبالة التى بهذا الطرف من يد الحديد الثابتة خلف العربة الموسوقة المطلوب هبوطها

وقبل تميم هذه الاعمال تأتى عربة فارغة من المحل الذى هو مبدأ السير الى اسفل الانحدار فيجد العربجى هذه العربة موسوقة فيفكها و يربط بها فرسه ثم يربط حبل الشد فى العربة الفارغة و يسير

فاذا انقضى هذا العمل دفع العربجى بيده عربته الموسوقة فتأخذ فى الهبوط على الانحدار فعند ذلك يصعد فورامع النشاط على احدى جهات هذه العربة قابضا على الرافعة المجعولة زماما لاحدى العجلات و يوجد فى اصغر اطراف هذه الرافعة قوس دائرة من الخشب نصف قطره كنصف قطر العجلة التى يحتك عليها هذا القوس عند ارادة بطئ سير العربة ومنع سرعتها فاذا وصل العربجى الى اسفل الانحدار نادى باعلى صوته الوقوف الوقوف فعند ذلك يحرك المنوط بالزمام الاكبر هذا الزمام تحت المكان المتقدم ذكره ويجرى ذلك فى كل عربتين احداهما فارغة والاخرى موسوقة

وعلى ماذكرناه من القواعد يلزم أن الفرس المعد لجر العربات على سكة الحديد يبذل جميع قوته عند صعود عدة عربات فان كانت صورة الارض تقتضى تغير الانحدارات وتنوعها لزم أن تعمل على وجه بحيث يكون ملايما لهذه العدة وعلى ذلك فلابد أن تكون سكك الحديد ذات الاخاديد مركبة من خطوط مستقيمة يتألف منها مضلع مستو اومن خطوط منحنية متحدة الانحدار فى جميع طولها وحينئذ يمكن بواسطة التجاريب الصحيحة أن تعين درجات الميل المتنوعة التى يلزم أن يكون السير بحسبها

ولاجل عدم ضياع الزمن بلا فائدة فى ربط الخيل وحلها يلزم أن يكون لكل فرع ثابت الانحدار من سكة الحديد طول يكفى فى تغيير الخيل ولابد أن يكون عدد الخيل المعدة للنقل على نسبة منعكسة من عدد العربات الفارغة التى تصعد هى بها ومن الزمن التى تستغرقه مدة التغيير المذكور فى حالتى الذهاب والاياب فبهذه

الكيفية تقطع العربات المتعددة جميع فروع السكة فى وقت واحد ولا تحتاج الخيل ولا العربجية الى التأنى للسابق او اللاحق

ويلزم مزيد الاهتمام وفرط الاعتناء فى عمل سكة الحديد بحيث لا يحصل عند الصعود عليها هبوط الا اذا كان المحل يقتضى ذلك وطريق اجتناب هذا الهبوط الحاصل عند الصعود أن نقيم فى الوديان الضيقة العميقة تخشيبات صابة خفيفة على شكل القناطر الحقيقية ويصنع على سطحها الافقى سكة الحديد ذات الاخاديد

ويسهل عمل تلك السكك على قناطر معلقة بسلاسل من حديد

(وقد ذكر المهندس استوانسون ان المجارى الضيقة العميقة المتقاطعة فيما صنعه من سكك الحديد يمكن اجتيازها بواسطة مربع من الخشب توضع عليه العربات فيسير بها الى جهة الامام بواسطة البكرات على طول المستوى المائل المركب من سلاسل او قضبان من الحديد ممتدة من احد شاطئى المجرى الى الآخر)

واذا كانت الارض مرتفعة قليلا فانه يمكن عند اقتضاء الحال عمل سكك افقية اواحداث اماكن لتغيير الخيل يكون انحدارها ثابتا وذلك اما بواسطة الحفر والردم بطريق مضبوطة لاجل اختصار طول الطريق واما بواسطة عمل انعطافات وتعاريج كثيرة يتحقق فيها شرط التصرف الاصغر فى عمل السكة لتعلم فائدة النقل قبل حصوله ويجرى فى هذه الصورة القواعد المقررة فى غيرها من سائر انواع السكك

وهناك صورة تخص سكك الحديد ذات الاخاديد المعدة للنقل فى اتجاه واحد ابدا وهى انه بواسطة المستوى المائل يمكن رفع الاحمال فورا الى الارتفاع المطلوب الذى يعقبه هبوطها الى المحل المراد وصولها اليه على اقصر انحدار

فاذا كانت كمية النقل الكلية واحدة فى الذهاب والاياب لزم عمل الانحدارات على وجه بحيث تكون مساعدة للجهتين ويشترط فى ذلك شرط لابد من تحققه هنا وهو أن تخفض النقط العليا ونلطف المستويات المائلة من غير أن يكون ذلك سببا فى طول سكة الحديد طولا مفرطا ولا فى كثرة المصاريف وقد جرت

العادة

العادة بعمل سكتين متجاورتين من ذوات الاخاديد احداهما للذهاب والاخرى للاياب

ولنشرع الآن في الكلام على صناعة سكك الحديد ذات الاخاديد فنقول انها تنقسم باعتبار اخاديدها الى قسمين احدهما الترام وى او البلات وى وهو ماتكون فيه الاخاديد مسطحة ومركبة من قضبان من حديد الصب اى الزهر وفوقها اثناء بارز على طولها من خارج وتحتها حرف بارز يكسب القضيب قوة كافية لحمل ثقل عجل العربات من غير أن يعرض له كسر وذلك أن هذه العجلات الاسطوانية تقف على الاخدود والقسم الثاني الادج وى وهو ماتكون فيه الاخاديد مجوفة ومركبة من قضبان متلاصقة غليظة ومستديرة من اعلاها لانه يوجد في عجلات العربات حلق كحلق البكر يشتبك به القضيب من طرفه المستدير فاما الاخاديد المسطحة فينشأ عنها مضرة عظيمة وهي ازدياد الاحتكاك زيادة مفرطة عند ملاقاة الارض لان ما يتعلق بالعجلة من التراب والرمل والحصى يتساقط و يقف في الاخدود المسطح واما الاخاديد المجوفة فلا يوجد فيها هذه المضرة فهي لعدم المانع قابلة لحمل الاثقال الكبيرة ومقدمة على غيرها في الاشغال الجسيمة وعليها جرى العمل في بلاد غالة واما في ضواحي مدينة نوكاستل فيستعمل فيها المسطحة كالمجوفة وقضبان الاخاديد المجوفة تتخذ من الحديد المطرق وعرض كل قضيب ٤ سنتمتر وسمكه الرأسي الذي هو اكبر من العرض دائما يكون مناسبا لما يوضع عليه من الاحمال وليست فائدة الاخاديد المجوفة هو مجرد تقليل الاحتكاك بل يضاف الى ذلك ايضا مقاومتها للاحمال العظيمة وليس ذلك موجودا في المسطحة نظرا لصورتها ولكون موادها اقرب للتلف من الاولى

وقد ذكر المهندس استوانسون ان السكة ذات الاخاديد المجوفة التي تحمل عربة بيرميلين تكون زنة حديدها ستين كيلوغراما عن كل متر من الاخدود المزدوج بعد انقضاء عمله و يكفي ايضا ما دون ذلك غير أن السكة السلطانية يلزم أن تكون صلابة اخاديدها بقدر الحاجة حتى لا تحتاج الى ترميم

يؤدى الى زيادة اجرة العملة عن مقدارها الاول

ويكفى على ماذكره المهندس غلواس أن يكون طول كل قضيب من قضبان الاخاديد المسطحة ٢٠ ر١ م وأن تكون زنة كل قضيبين مع مسنديهما من ٤٠ كيلوغراما الى ٥٠ ويكفى ايضا فى السكك ذات الاخاديد المجوفة المعدة لسير العربات الكبيرة أن تكون زنة كل قضيبين مع مسنديهما من ٤٠ كيلوغراما الى ٥٠ واما فى المسطحة المعدة للنقل فى عربات صغيرة تجرها الخيول فيكفى أن تكون زنتهما مع المسندين ٢٥ كيلوغراما ويكفى ١٨ فيما اذا كانت تلك العربات يجرها العربجية

(وماذكره هذا المهندس فى تحديد طول القضبان يختلف باختلاف الاماكن وانواع النقل وقد ذكر ايضا فى رسالته المشحونة بالفوائد التى الفها فى سكك الحديد مايفيد أن طول كل قضيب من قضبان سكك الحديد المجوفة ٨٩ سنتمترا وعرضه ٣٣ ملمترا وأن تلك القضبان تمر بعوارض من الخشب او حديد الزهر ثابتة او محمولة على بسطات من البناء وأن طول كل قضيب من قضبان السكك المسطحة ٢ ر١ م وعرضه ٨ ر٠ م فى الجزء الذى يجرى عليه العجلة وسمك هذا الجزء يساوى ٠١٥ ر٠ م وارتفاع الانثناء ٠٥٤ ر٠ م وسمكه المتوسط ٠١ ر٠ م)

ثم ان احكام وضع هذه الاخاديد ومتانتها مما لابد منه فى السكك ذات الاخاديد اذ بدون احكام وضعها ورداءة محالها ينشأ عن الجهد الواقع عليها من عجلات العربات الموسوقة أن بعض المسانيد يغوص فيها بمقدار ٢ سنتمتر فقط فيكون انحدار احد قضبان الاخدود فى هذه الحالة بمقدار واحد من ستين فيلزم حينئذ لاجل جر العربات حيث تكون السكة افقية تضعيف القوة المستعملة

وقد كانت سكك الحديد ذات الاخاديد سابقا خالية عن الثمرة الحقيقية مع أنها كانت قابلة لأن يحصل عنها كثير من الفوائد وذلك لان هذا النوع من السكك

كان متجاوزا الحد في الصعوبة (فان طبيعة الارض ورخاوتها مماله تأثير عظيم في صلابة هذه السكك) فقد صرفت مبالغ جسيمة في عمل مساند من الحجارة اللينة مع انها اذا وضعت على سطح الارض تكون عرضة لتنوع الحرارة والرطوبة

فلاجل جبر هذا الخلل اقتضى الحال أن تسند الاخاديد بالواح غليظة من الحديد الصب اى الزهر وتسمر اطراف اجزاء هذه الاخاديد على اطراف تلك الالواح

والظاهر أن منافع استعمال الحديد الزهر دون منافع استعمال الحديد المطرق فان الاخاديد المتخذة من الحديد المطرق ليست كالاخاديد المتخذة من الحديد الزهر في كونها عرضة للكسر عند وثوب العربة وملاقاتها لحصاة او حجر صغير يكون على الاخدود وقد شوهد منذ أكثر من ثمان سنوات سكة من الحديد المطرق معدة لاشغال تند الفيل باقليم كمبرلند وشوهد بها ايضا سكتان من الحديد الزهر فكانت الاولى حسنة الاستعمال من جميع الوجوه وكانت في المصاريف دون السكتين الاخرين وقد جربوا مثل ذلك في ايقوسيا غير مرة فكانت النتيجة واحدة

وها نحن نبين عرض السكة المزدوجة ذات الاخاديد على مقتضى ما حسبه المهندس استوانسون في بعض مؤلفاته فنقول

الفرجة التي بين الاخدودين من ١ر٣ م الى	٢ر٦ م
المسافة التي بين السكتين	٢ر٢ م
جوانب المسالك الضيقة والمجاري والدروات وغير ذلك من ١ر١٥ م الى	٢ر٣ م
فيكون مجموع ذلك	٧ر١ م

ويمكن بواسطة وضع الاساس من الحجارة الصغيرة وسترها بالحصى عمل فرجة بين كل اخدودين واما السكة الضيقة المعدة للعربجية فانه يمكن تثبيتها بالحصى اورغوة المعادن او بالفحم المعدني او نحو ذلك على حسب طبيعة الاماكن

وهنا نوع ثالث من سكك الحديد وهو ما تكون فيه الاخاديد مسطحة بدون انثناء ولا بروز فى بعض اجزائها وملصوقة بمنتصف السكة الاعتيادية او المبلطة فوق سطح تلك السكة ومثل هذا النوع لا يلائم الا المحال المستديرة من الحارات والازقة وغيرها من طرق المدينة السلطانية التى تتلاقى فيها العربات على اختلاف انواعها وعظمها فى اتجاهات مختلفة وقد استعملت هذه السكك ذات الاخاديد بمدينة غلاسغوف فى المستوى الاعظم ميلا الذى يوصل الى حوض خليج فورت اكليد على مينا دونداس وهذا المستوى يمكن أن تصعد عليه الفرس الجيدة بنحو ثلاثة براميل وأن تجر عليه فى مدة النهار نحو برميل ونصف

وقد اشتهر استعمال ما ذكرناه من الاخاديد المسطحة فى السكك الكبيرة لاسيما فى المستويات العظيمة الميل ولابد فى استعمالها من تغيير الخيل عند الوصول الى تلك المستويات اوتفريغ شئ من العربات لاجل عبور الجسور حتى يسهل النقل عليها كالسكة الافقية الاعتيادية

وترى فى شكل ٢٠ المرموز اليه بهذه الاحرف وهى (ا) (ب) (ث) حاجزا موضوعا بحذاء انثناآت اخدود الحديد وتجد فى شكل ٢١ سكة مزدوجة ذات اخاديد مع عجلات العربات ومحاورها وفى شكل ٢٢ سكة مزدوجة ذات اخاديد تقطعها سكة اخرى

(الدرس الثانى عشر)

فى بيان البريمة والالتواء والحبال والخابور وسائر الآلات التى من هذا القبيل

ينبغى لمن اراد أن يعرف هذا الدرس حق المعرفة أن يراجع الدرس الثانى عشر من الهندسة فى الجزء الاول من هذا الكتاب لتعلقه بالخطوط والسطوح الحلزونية

ولا بأس أن نورد هنا على وجه الاجمال ما للخطوط والسطوح من الخواص الهندسية تذكيرا لما سبق فنقول ان الخط البريمى او الحلزون الاسطوانى

هو كناية عن خط منحن مرسوم على محيط اسطوانة بحيث يحدث عنه فى جميع امتداده مع اضلاع الاسطوانة زاوية واحدة فاذا كانت الاسطوانة موضوعة على وجه بحيث تكون اضلاعها رأسية حدث عن الخط البريمى فى جميع امتداده مع احد اضلاع الاسطوانة الرأسية زاوية واحدة ثابتة الميل

فاذا فرضنا أن هنالك خطا مستقيما له ميل ثابت و يتحرك على طول الخط البريمى و يحدث عنه مع هذا الخط المنحنى زاوية واحدة دائما فانه يحدث عنه سطح حلزونى و يكون المستوى المماس لهذا السطح الحلزونى مائلا بالنسبة للرأسى فى سائر نقط الخط البريمى

واذا اريد هبوط جسم اوصعوده على طول الخط البريمى فانه بارتكاز هذا الجسم على السطح الحلزونى يتحرك كتحركه فى طول المستوى المائل على خط مستقيم ميله كميل الخط البريمى وهذا المستوى فى الميل كغيره من المستويات المماسة للسطح الحلزونى

وليكن أم وب (شكل ١) كناية عن انفراد الاسطوانة التى تصنع عليها بريمة مثلثية (شكل ٢) اومربعية (شكل ٣) فينفرد كل دور من الخيوط (شكل ١) على خط مستقيم طوله وهو ب ب = ث ث = د د = الخ ثابت

فاذا كان جسم من الاجسام الثقيلة عرضة للصعود اوالهبوط على احد هذه الخطوط كخط م م مثلا وكان ذلك الجسم متوازنا بواسطة قوة افقية كقوة ح حدث هذا التناسب وهو نسبة قوة ح الى ثقل الجسم كنسبة م و الذى هو ارتفاع خطوة البريمة الى نسبة وم الذى يساوى محيط الاسطوانة المرسوم عليها خيط البريمة

وحيث تقررت هذه المبادى وجب أن نشرع فى الكلام على كيفية استعمال البريمة فنقول ان البريمة توضع فى بيتها البريمى الذى يوجد فى داخله مايوجد فيها من الاسطوانة والخيوط فتارة يثبت فى البيت المذكور وطارة ذات مماسك

اندوربه كما تدور طارة المجنون وتارة يثبت فيه رافعة او اكثر يكون لها شبه بقضبان المجنون والمعطاف

وكانوا سابقا يكتفون بجعل رأس بيت البريمة مربعا ويعشقونه ببعضه بواسطة مفتاح تجويفه مربع كتجويف البيت لاجل ادارته الى احدى الجهتين (اى جهتى اليمين والشمال)

وهناك بريمات وبيوت بريمات تدور الى جهة اليمين (شكل ٢ و ٣) (كما سبق فى الدرس الثانى عشر من الهندسة) وهى اكثر استعمالا من غيرها ويوجد ايضا بريمات وبيوت بريمات تدور الى جهة الشمال فلا يمكن تعشيق بريمة دائرة الى جهة ببيت بريمة دائر الى جهة اخرى تقابلها

وثم نوعان من البريمات وبيوتها احدهما بيت البريمة الثابت الوضع وهو ما تتقدم فيه البريمة تارة وتتأخر اخرى بدورانها فى ذلك البيت الذى لا يتقدم ولا يتأخر لثباته وتكون القوة حينئذ ثابتة فى احد طرفى البريمة وهذا الطرف الذى جرت العادة بجعله مربعا يسمى رأس البريمة

وثانيهما البريمة الثابتة الوضع وهو ما تكون فيه البريمة مجبورة على الدوران بدون تقدم ولا تأخر وانما بيتها هو الذى يتحرك بطولها

وفى هذين النوعين تكون القوة والمقاومة الموازنة لها على نسبة منعكسة من المسافتين اللتين تقطعهما هاتان القوتان فى زمن واحد كما فى توازن المستوى المائل الذى ينسب اليه توازن البريمة

ولكن اذا ادارت القوة دورا كاملا حول المحور فانها تقطع محيطا نصف قطره هو بعد المحور عن هذه القوة وحيث ان المقاومة مؤثرة بالتوازى للمحور فانها تقطع فى زمن واحد خطوة بريمة فاذن تكون القوة مضروبة فى المحيط الذى تقطعه حول محور البريمة مساوية للمقاومة مضروبة فى خطوة البريمة

وعلى ذلك كلما كانت خطوة البريمة صغيرة وكان ذراع الرافعة الذى تؤثر القوة فى نهايته طويلا امكن حصول التوازن بين قوة مفروضة ومقاومة كبيرة فاذا لم تكن البريمات وبيوتها محكمة الصناعة لزم أن يكون فى بعض اجزائها

فراغ

فراغ بين البريمة وبيتها وأن تطوى او تفرد الخيوط المجوّفة فى البعض الآخر لاجل حصول التحرك فيلزم أن تكون الآلات المستعملة لصناعة البريمات من حيث صورها وتحركها على غاية من الضبط والاحكام

واذا وقع على البريمة جهد قوة لاجل ابطال مقاومة حدث من هذا التأثير عليها وعلى بيتها نوعان

فالنوع الاول منهما يلف خيوط البريمة بواسطة قوّة الضغط الحاصل بالتوازى للمحور وهى قوّة مساوية للمقاومة الحادثة من البريمة سواء كان ذلك فى حالة الدفع او فى حالة الجذب وهذه القوّة تحل الى عدّة اجزاء يمكن اعتبارها كنقط تماس بين البريمة وبيتها وجزء المقاومة المنقول الى كل من هذه النقط يكون على نسبة منعكسة من سطح الخيوط المعلوم مقداره فى صورتها اذا كان عموديا على المحور وهذا السطح مناسب لبروز الخيوط فى سائر طولها الا أن هذا البروز لا تمكن زيادته بدون أن تكون الخيوط عرضة للكسر بادنى اصطدام فان كان جانب هذه الخيوط مثلثا فاللائق عادة أن يكون من المثلثات المتساوية الاضلاع وان كان مستطيلا لزم أن يكون عرض كل خيط بقدر سمكه بمعنى انه يكون مربعا ثم ان نوعى البريمات السابقين يمتازان عن بعضهما بكون خيوط البريمة فى النوع الاوّل مثلثة (شكل ٢) وفى الثانى مربعة (شكل ٣)

وتصنع البريمات من الخشب اذا كان كل من المجهودات الواقعة عليها والمقاومات التى تظفر بها تلك المجهودات متوسطا بين الشدّة والضعف غير أنه ينبغى لذلك انتخاب نوع من الخشب كالبقس والزان وخشب الكمثرى مما تكون اجزاؤه متحدة اتحادا كافيا فى سائر طوله ومثل هذه البريمات يسهل انثلام اطرافها وذلك ضرر عظيم لا يقع فى البريمات المصنوعة من المعادن

وللبريمات المعدنية منفعة عظيمة وهى قابليتها لأن تحمل اى مقاومة كانت مع صغر حجمها

هذا ويشق علينا أن نورد فى استعمال الآلات جميع عمليات البريمة على وجه التفصيل وانما نقول ان الغرض الاصلى منها احداث الضغط الشديد

كما فى البريمة التى يستعملها مجلد الكتب لضغط اوراقها
وكذلك البريمات الرافعة فان الغرض الاصلى منها ايضا هو احداث الضغط المذكور وبيوت هذه البريمات ثابتة وممتدة على شكل الهرم الناقص المربع الذى تكون قاعدته على الارض واما البريمات فهى متحركة بذراع اوذراعين من الرافعة (راجع شكل ٤)
واذا كان المطلوب ضم جسمين صلبين الى بعضهما والصاقهما الصاقا تاما لزم ثقبهما بمسمار اونحوه (شكل ٥) مما يكون له رأس بارز لاجل الامساك وبعض ادوار من خيوط البريمة وهو المسمار المعروف بالقلووز
فاذا ادخلنا المسمار فى الثقب تقذ من الجسمين المطلوب ضمهما وصار بمنزلة البريمة التى فى داخل بيتها ثم يغلق هذا البيت بمفتاح مربع شبيه بالمفتاح الذى تقدم ذكره فى هذا الدرس ويمكن بهذه الكيفية ضم عدة عظيمة من قطع الاخشاب المهمة سواء كانت من اخشاب الاشغال البرية او البحرية
وثم بريمات خيوطها مرنة منفصلة عن بعضها كبعض يايات العربات المعروفة بيايات القبض (انظر الدرس الرابع والخامس عشر)
ولا مانع من أن نعتبر البريمة كاسطوانة مضرسة معدة لايصال الحركة الى الطارات المضرسة وهو ما يعرف بالبريمة غير المتناهية
وتستعمل هذه البريمة فى كثير من الآلات كالآلة المعدة لتحويك السفود وربما التبست بالمنجنون والمعطاف وما شاكلهما
ويمكن ضم البريمة الى الطارة المضرسة والصاقها بها بواسطة التعشيق كما فى شكل ٦
وبهذه الواسطة تنتقل الحركة من محور $\overline{\text{س ث}}$ الموازى لمستوى المسقط الى محور آخر عمودى على هذا المستوى تدل عليه نقطة $\overline{\text{و}}$
ولتكن $\overline{\text{ف}}$ هى القوة الواقعة على مانويلة $\overline{\text{ش ح ع}}$ فى طرف ذراع رافعة $\overline{\text{ش ح}}$ و $\overline{\text{ف}}$ هى القوة المنقولة بالبريمة غير المتناهية من $\overline{\text{م}}$ الى الطارة المضرسة التى نصف قطرها يساوى $\overline{\text{م و}}$ و $\overline{\text{ر}}$ هى المقاومة المؤثرة فى طرف ذراع رافعة $\overline{\text{ه و}}$ فيحدث

اولا

اولا $ف = \frac{\text{محيط امقطوعا بالمانويلة}}{\text{خطوة البريمة}} \times ف$ وثانيا $و = \frac{م و}{ه و} \times ف$

فاذن يكون $و = \frac{م و}{ه و} \times \frac{\text{محيط مقطوع بالمانويلة}}{\text{خطوة البريمة}} \times ف$

ومن هذا التساوى تؤخذ النسبة بين القوة والمقاومة

والنوع الثانى من نوعى التأثير الواقع على البريمة وبيتها من القوة والمقاومة هو ما يحدث عنه التواء البريمة وبيتها ولاجل الوقوف على حقيقته نفرض عدة منشورات متساوية كالالياف النباتية التى يتركب من مجموعها شجرة اسطوانية ونفرض أن المطلوب التواء هذه الاسطوانة فنوقع على نهايتيها قوتى ف و ف (شكل ٧) العموديتين على اتجاه الالياف والدائرتين فى جهتين متقابلتين فاذا لم تكن الاسطوانة صلبة جدا وكان لا يوجد فى الالياف صلابة تامة فانه يقع عليها تأثيرها تين القوتين فتدور احدى قاعدتيها من اليمين الى الشمال والاخرى بالعكس ونفرض ايضا أن مقاومة الاسطوانة المذكورة واحدة فى جميع طولها وزيادة على ذلك نفرض عدة قطاعات متنوعة حاصلة من مستويات موازية للقاعدتين وأنها على بعد واحد من بعضها فيكون دوران القطاع الاول بالنسبة للثانى فى زاوية يكون فيها دوران الثانى بالنسبة للثالث والثالث بالنسبة للرابع وهكذا وعلى ذلك فالنقط التى يتكون منها فى مبدأ الامر ليف قائم على كل قاعدة يتكون منها ايضا خط حلزونى بواسطة ما يكون للقوتين المؤثرتين فى جهتين متقابلتين من التأثير الواقع على نقط مختلفة من طول الشجرة الاسطوانية ويعرف هذا التعاكس بالالتواء

فاذا لم تكن الالياف متلاصقة بل تزحلقت عن بعضها او كان لا يمسكها الا الاحتكاك كان التواء الاسطوانة المتكونة من مجموع الالياف كالالتواء الذى يحدث فى صناعة الحبال

فان قيل ما مقدار المقاومة التى تعرض للالتواء من الاسطوانات المختلفة القطر المتجانسة المادة فالجواب اننا نفرض لحل هذه المسئلة اسطوانتين

رفيعتين جدا متساويتين فى الرفع والاولى أن يقال متحدتين فى السمك الصغير جدا ومختلفتين فى القطر مع اتحادهما فى الطول ونوقع عليهما فى مستوى قواعدهما قوى مماسة لهما تديرهما الى جهات متضادة فيحصل بذلك التواؤهما ويلزم اتحاد القوة فى زاوية واحدة من الزوايا الحادثة من التواء الالياف المتجهة على اضلاع الاسطوانتين ليحصل الالتواء فى الالياف التى حجمها واحد ويكون عدد تلك الالياف مناسبا لمحيط القواعد فيلزم اذن استعمال القوى المناسبة لمحيط القواعد وانصاف اقطار الاسطوانتين ليحصل التواء هاتين الاسطوانتين المجوفتين الرفيعتين جدا بحيث لا يحدث عن اليافهما واتجاهاتهما الاصلية الا زاوية واحدة

فاذا فرضنا عمودا اسطوانيا غير مجوف وتوهمنا انه مقسوم الى اسطوانات مجوفة متحدة السمك والمركز وفرضنا أن التواءها واحد بحيث تكون كل نقطة من نقطها الموجودة فى القطاع العمودى على المحور باقية على وضعها الاصلى سهل عليك بعد حصول الالتواء أن تعرف أن الزاوية الحادثة من الالياف مع اتجاهاتها الاصلية مناسبة لبعد هذه الالياف عن المحور وبهذا الالتواء يحدث عن كل ليف لاجل حل التوائه جهد مناسب لنصف قطر الاسطوانة المحتوية على هذا الليف وهذا الجهد ناشئ عنه بالنسبة للمحور بواسطة ذراع رافعة مساو لنصف القطر المذكور فبناء على ذلك تكون القوة التى يلزم استعمالها فى التواء كل ليف مناسبة لمربع بعدها عن المحور وينتج من ذلك أن القوة الكلية التى يلزم أن يكون للاسطوانات بها درجة من الالتواء مأخوذة وحدة تكون مناسبة لمجموع مقادير اينرسى قواعدها بالنسبة للمحور بمعنى انها تكون مناسبة لمسطح قاعدة الاسطوانة مضروبا فى مربع نصف القطر فاذن اذا كانت انصاف الاقطار هى

١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	١٠	الخ

كانت اعداد

١	١٦	٨١	٢٥٦	٦٢٥	١٢٩٦	٢٤٠١	٤٠٩٦	٦٥٦٣	١٠٠٠٠	الخ

دالة على نسبة القوى التى بها يمكن تحصيل درجة واحدة من الالتواء

لاسطوانات

لاسطوانات متنوعة لها طول معلوم بين القوى التي تؤثر فيها الاجل التوائها واذا فرضنا اسطوانتين مختلفتين في نصفي قطريهما المرموز اليهما برمزي ر و رَ (شكل ٨ و ٩) وواقعا على احداهما قوتا ف و فَ المتساويتان وعلى الاخرى قوتا ف و فَ المتساويتان ايضا لاجل حصول الالتواء فيهما بحيث ان بعدي هاتين القوتين وهما م غ و م خ متساويان حين يكون

ف : فَ :: مسطح م ن ض × ر^٢ : مسطح م ن ض × رَ^٢

تكون زاويتا الالتواء وهما م و ن و م و ن متساويتين لان و و هما مركزا القاعدتين فاذن يحدث هذا التناسب وهو

م ن : م ن :: ر : رَ

فاذا جعلنا م نَ = م ن ولوينا الاسطوانة الغليظة حتى نوصل ليف خ م الى خ نَ حدث من هذا الليف مع اتجاهه الاصلي وهو م خ الزاوية التي تحدث من ليف غ ن مع اتجاهه الاصلي وهو م غ ولتكن فَ هي القوة التي لابد منها في التواء الاسطوانة الكبيرة على اتجاه خ نَ فيحصل هذا التناسب وهو

ف : فَ :: م ن : م نَ :: رَ : ر ويؤخذ من ذلك أن

$$فَ = ف \times \frac{ر}{رَ}$$

$$\text{ولكن } ف = ف \times \frac{\text{مسطح م ن ض}}{\text{مسطح م ن ض}} \times \frac{رَ^2}{ر^2}$$

$$\text{فاذن يكون } فَ = ف \times \frac{\text{مسطح م ن ض}}{\text{مسطح م ن ض}} \times \frac{رَ}{ر}$$

فاذا كان ميل غ ن يكفي في انحلال او انفصال الياف الاسطوانة الصغيرة من بعضها تحصل على الاسطوانة تأثير واحد من ميل خ نَ الحادث

من قوة ف فاذن تكون قوتا ف و ف الحادث عنهما انفصال الاسطوانتين المختلفتى القطر من بعضهما مناسبتين لمسطح القاعدتين مضروبا فى نصف قطرهما وهذا الحاصل فى غاية الاختصار

ومتى عرفت المقاومة التى تقبلها الشجرة الاسطوانية فى بعد معين سهل عليك دائما بواسطة النسب المتقدمة حساب المقاومة التى يقبلها ما ماثلها من الاسطوانات الاخرى فى ابعاد اخرى ولا يخفى ما لمثل هذا الحاصل من الاهمية فى تعيين ما يلزم من الابعاد لاعمدة الآلات كاعمدة المنجنون والمعطاف والسهم الذى يستعمل فى نقل قوة الآلات الادروليكية والبخارية وغيرها وليس لقوة التواء الاخشاب حالة واحدة بل تتغير على حسب حالة الجو وطبيعة كل نوع من الاعمدة الاسطوانية ففى زمن الرطوبة تقاوم الاخشاب الالتواء مقاومة عظيمة بخلاف وقت القيظ واليبوسة فان القوى بتأثيرها تجبرها على الالتواء ومثل هذا الامر المخالف لما يتصوره الانسان قد ثبت بتجاريب عديدة عملت فى شأن التواء الاخشاب تركناها هنا خوف الاطالة

(بيان التواء الحبال)

لا بأس أن نورد فى هذا المقام ما يشهد لذلك من العمليات المهمة الحادثة من خواص الحلزونات فنقول

قد سبق لك فى الدرس الثانى عشر من الجزء الاول أن كلا من الخيوط التى يتركب منها الحبل يكون بواسطة الالتواء منثنيا انثناء حلزونيا وأن محور هذه الحلزونيات هو عين محور الحبل اعنى الخط الذى يكون فى جميع طوله على بعد واحد من محيط الحبل المفروض مستقيما وجميع الخيوط التى على بعد واحد من هذا المحور لها طول واحد بين القطاعين العموديين على المحور بخلاف الخيوط المختلفة البعد من المحور فليس لها طول واحد بل يزداد بازدياد البعد عن ذلك المحور ولاجل الوقوف على حقيقة ذلك نفرض أن ا ب ث د و ا ب ثَ دَ و ا ب ثً دً الخ (شكل ١٠) مستطيلات تكون فيها الطوال اد و ادَ و ادً بالنسبة الى ارتفاع ا ب

المساوى لارتفاع الخطوة المشتركة بين الخيوط الحلزونية كناية عن طول محيطات الطبقات المختلفة من الخيوط التى هى اجزاء الحبل فاذا امددنا من نقطة ب خطوط بد و بدَ و بدً الخ المائلة كانت هذه الخطوط كناية عن طول اجزاء الخيط الحادث منه دور كامل حلزونى على المحيطات الموجودة فى الالتصاقات وهى د و دَ و دً الخ وهذه الخطوط المائلة كلها غير متساوية وتزيد فى الطول عن بعضها بازدياد بعدها عن خط اب العمودى على اد واذا اخذت من مبدأ الامر عدة خيوط متوازية ولويتها كلها دفعة واحدة جاريا فى ذلك على الطريقة القديمة مع منعها عن التزحلق على بعضها لزم انطواء الخيط المركزى وهو اب وامتداد خيط المحيط الخارج وهو بد بحيث يصير جزآ الخيط المتحدان فى الطول بين قطاعى اد و بث كناية عن اب و بد ولاجل حصول التوازن بين الخيوط التى يتركب منها الحبل المصنوع بموجب الطريقة القديمة وابقاء ذلك الحبل على صورته يلزم اولا انطواء بعض اجزاء الخيوط الداخلة وثانيا امتداد جميع الخيوط الخارجة وما جاورها وثالثا موازنة مقاومة المد لمقاومة الانطواء

ولنفرض حبلا مصنوعا بهذه المثابة يكون مشدودا بقوتين واقعتين على طرفيه فيكون تأثيرهما فيه كناية عن مده وحيث ان الالياف المركزية منطوية شأنا تستعمله من القوى حينئذ تعود به تلك الالياف الى حالتها الاصلية وهذه القوى لا تعرض لها مقاومة من الخيوط فلذا كانت تتقوى بالانطواء فلا يبقى حينئذ ما يقاوم مد الحبل الا الالياف الخارجة وما جاورها

فعلى ذلك ليس فى صناعة الحبال بموجب الطريقة القديمة ما يقاوم المد والانقطاع الا جزء واحد من خيوط كل حبل وذلك لعدم استواء هذه الخيوط فى المقاومة فانها اذا لم تقبل من المد الا درجة معينة فان الخيوط الموجودة خارج الحبل تصل الى تلك الدرجة بواسطة تأثير قوى جديدة وتنقطع قبل أن تبلغ الخيوط الداخلة النهاية فى المقاومة واذا انقطعت الخيوط الاولى الخارجة

انقطعت حينئذ الطبقة البعيدة عن المركز وسرى ذلك الى ما بعدها حتى يصل الى مركز الحبل

وبمعرفة المقاومات المتوالية تعرف الفائدة المترتبة على جعل الخيوط التى يتركب منها الحبل ممتدة بالسوية عند صناعة هذا الحبل وبهذه الطريقة تكون سائر الخيوط مقاومة للمدفعة واحدة ويؤخذ من ذلك أن هذا التأثير يشتد بقدر غلظ الحبل حيث ان هنالك فرقا كبيرا بين مد الخيوط الخارجة والخيوط الداخلة

وهذه القاعدة هى التى جرى عليها الانكليز فى عمل الآلات الجديدة المعدة لصناعة الحبال ونحن أول من اشهر هذه الآلات بمملكة فرانسا ثم سلك مهرة المهندسين الفرنساوية فى صناعتها طرقا متنوعة اخترعوها فترتب على ذلك نتائج عظيمة لها اهمية فى فن التجارة الفرنساوية

فمن ذلك ما صنعه كل من المهندس البارون لير و هوبيرت فى مينى بريست ورشوفورت من الآلات التى بواسطتها كانت الحبال المصنوعة اقوى وامتن من الحبال القديمة فبذلك صارت ادوات السفن خفيفة وبجعل القوة فى تلك الحبال واحدة يمكن تنقيص اقطارها فتنقص ابعاد البكرات المعدة لتحريكها واستعمالها وبذلك تصير صوارى السفن خفيفة جدا

هذا ومما نؤمله أن مينات التجارة الفرنساوية تؤثر فى صناعة الحبال الطرق الجديدة المذكورة وترجحها لانها جامعة بين فائدتى الوفر والمتانة

(بيان الخابور)

الخابور منشور مثلثى يؤثر بضلعه القاطع وهو ه ف (شكل ١١) ليفصل بين جسمين او جزءين من جسم واحد ويعرف هذا الضلع بحد الخابور القاطع واما واجهة ا ب ث د المقابلة للحد المذكور فتعرف برأس الخابور ويطلق اسم الجبهتين على واجهتى ا د ه ف و ب ث ه ف اللتين على يمين الحد القاطع وشماله

ويستعمل الخابور فى كثير من الفنون لقطع الاجسام او شقها فان السكاكين الفرنجية والمقاريض والسيوف والبلطخوابير مستعملة دائما فى زمن السلم والحرب وكذلك الفارات والشفرات اوالكوازم والمعازق والمجارف والفاسات ونحوها وبالجملة فالخابور من اهم الآلات المعدة للشغل

وليكن خابور اب ث (شكل ١٢) هو الذى يدفع بواسطة قوة ح نقطة ه الممسكة بقوة واحدة كقوة غ ونقطة ف الممسكة بقوة واحدة كقوة ك والمطلوب الآن معرفة شروط التوازن فى ذلك فيقال على اى وجه كانت قوة ح متى لم تكن قوتا غ و ك عموديتين بالناظر على ضلعى الخابور وهما اث و ب ث فان نقطتى ه و ف يتزحلقان على طول هذين الضلعين وبذلك يختل التوازن فاذن تكون اولا قوة غ عمودية على اث وقوة ك عمودية على ب ث وثانيا يلزم لاجل حصول التوازن بين قوى ح و غ و ك الثلاثة المؤثرة فى خابور اب ث أن تكون مجتمعة فى نقطة واحدة كنقطة و وأن تعتبر احداها محصلة للاخريين فاذا رسمنا على وغ و وك و وح الممتدة شكل ودع غ المتوازى الاضلاع تحصل معنا هذا التناسب وهو

قوة ح : قوة غ : قوة ك :: وع : ود : وغ = دع

وهذا هو شرط توازن الخابور

وحيث ان اضلاع مثلث ودع الثلاثة عمودية بالتناظر على اضلاع مثلث اب ث الثلاثة يحدث اذن هذا التناسب وهو

قوة ح : قوة غ : قوة ك :: اب : اث : ب ث

فاذا كان ضلعا الخابور وهما اث و ب ث متساويين (شكل ١٣)

لزم أن تكون مقاومتا غ و ك المناسبتان لهذين الضلعين متساويتين ايضا كما هو الواقع فى اغلب العمليات وعليه فاضلاع السكاكين والبلط والسيوف من حيث هى متماثلة وحينئذ تكون نسبة القوة للمقاومة الحاصلة لاجل دفع كل ضلع كنسبة عرض رأس الخابور الى طول الضلع

وكلما كانت الخوابير حادة كانت اضلاعها طويلة بشرط بقاء رأس الخابور على حالة واحدة وكان ايضا الرأس ضيقا بشرط بقاء الاضلاع على حالة واحدة فلذا كان يمكن حصول التوازن بين قوة مفروضة ومقاومة كبيرة بقدر ما يكون الخابور حادا وكان ايضا يكفى فى ابطال مقاومة مفروضة قوة صغيرة بقدر ما يكون الخابور حادا

واذا وقع على نقطة ه او ف قوتان بدلا عن قوة ه غ او ف ك لزم أن تكون محصلة هاتين القوتين عمودية على احدى واجهتى ا ث و ب ث المتقابلتين وحل هذه المسئلة الجديدة على غاية من السهولة

وذلك بأن نصل بين ه و ف (شكل ١٣) اللتين هما نقطتا وقوع مقاومتى ه غ و ف ك بمستقيم غ ه ف ك ثم نسقط ه غ و ف ك على هذا المستقيم بعمودى غ غ و ك ك فيكون ه غ و ف ك هما القوتان المبعدتان لنقطتى ه و ف عن بعضهما

ومتى كان ضلعا ا ث و ب ث متساويين (شكل ١٣) كانت مقاومتا ه غ و ف ك متساويتين ايضا ويحدث من خط ه ف واتجاهى ه غ و ف ك زاوية واحدة فاذن تكون مقاومتا ه غ و ف ك الجانبيتان متساويتين

واذا فرضنا زيادة على كون قوة ح (شكل ١١) عمودية على الحد القاطع وهو ه ف أن الخابور تدفعه قوة خ الموازية لهذا الحد

فان

فان ذلك الخابور من حيث وقوع تأثير قوة $\overline{ح}$ عليه يغوص ومن حيث
وقوع تأثير قوة $\overline{خ}$ عليه يتحرك فى جهة الحد القاطع
وبهذا تعرف القضية النظرية المتعلقة بالاجسام المتواصلة الاجزاء المتنوعة
تواصلا تاما وان لم تثبت لها هذه الخاصية بالنظر لجنسها وطبيعتها فيلزم أن تعتبر
تضاريسها الصغيرة جدا التى لا تدرك غالبا بمجرد النظر كالخوابير الصغيرة البارزة
الغائصة فى سطح تلك الاجسام
فاذا ضغط الخابور على جسم يقبل الضغط كثيرا اوقليلا فان هذا الجسم
يقع عليه تأثير الضغط وتزداد المقاومة كثيرا حيث بها تكثر نقط تماس الخابور
بالجسم المذكور
واذا زحلق الخابور الغير المصقول على الجسم صار كما ذكرنا كل تضريس من
تضاريس سطحه بمنزلة خابور مستقل يغوص فى ذلك الجسم مع حصول
الفائدة التى تحصل من القوة للمقاومة سواء كانت صورة هذه التضاريس
حادة كثيرا اوقليلا فاذن تكون القوة المستعملة فى ذلك مع الفائدة كناية عن
قوة عمودية على اتجاه الحد القاطع تدفع الخابور وقد دلت التجربة على اهمية
هذه الفائدة العظيمة فى كثير من اشغال الفنون
ويتضح ما ذكرناه بالآلة المنتظمة التضاريس انتظاما تاما بواسطة الصناعة
وهى المنشار بأن نفرض لوحا معدنيا كلوح $\overline{ا ب ث د}$ (شكل ١٦)
يكون ضلعه وهو $\overline{ث د}$ مصنوعا على وجه بحيث تكون زواياه
وهى $\overline{ا}$ و $\overline{ا}$ و $\overline{ا}$ الخ متساوية ونستعمل بالتعاقب قوتى $\overline{خ}$ و $\overline{ر}$
المتساويتين لاجل شد المنشار ودفعه على جسم $\overline{م ن}$ واما القوة الثالثة
وهى قوة $\overline{ح}$ التى هى فى الغالب كناية عن ثقل المنشار فان تأثيرها يكون
على اتجاه عمودى وهذا المنشار كناية عن الخابور المركب الذى يستعمل فى نشر
الاخشاب والمعادن وكثير من الاجسام الاخرى
واذا اريد قطع هذه الاخشاب او المعادن بمنشار ثابت واقع عليه تاثير ثقل

عظيم جدا كمنشار اب ث د (شكل ١٦) استحال تقسيمها وتعذر مالم يتوصل الى ذلك ببذل مجهودات خفيفة بأن يحرك الجسم تحركا متردّدا يضاهى تحرك المنشار

وليست صورة الزوايا البارزة المسماة باسنان المنشار المرموز اليها بحروف ا و ا و ا متحدة بل تتنوع فى كل منشار بحسب طبيعة الاجسام وصلابتها

فاذا كان المراد نشر اجسام صلبة جدا وجب الاهتمام بجعل الاسنان صغيرة ومتقاربة من بعضها وجعل كل واحدة منها معدّة لأن ترفع فى كل حركة من حركات المنشار جزأ صغيرا من الجسم الصلب واما اذا كان المطلوب نشر اجسام دون ذلك فى الصلابة فانه يلزم جعل ابعاد الاسنان كبيرة و جعل صورتها على شكل منحن كما فى شكل ١٧ عوضا عما هو الغالب من جعلها على شكل مثلث مستو وليس للمنشار المعدّ لنشر الحجر والرخام (شكل ١٥) اسنان اصطناعية بل هو كناية عن صفيحة من فولاذ تشدّ وتدفع على الكتلة التى يلزم نشرها ويقوم مقام الاسنان رمل معدنى احرفه الحادة تعمل عمل الحوابير * ويستعمل فى نشر حجر الصوان السنفرة بدلا عن الرمل ولايشترط أن تكون صفيحة المنشار شديدة الصلابة وربما كانت من الحديد الخام وعلى ذلك يمكن ادخال الرمل او السنفرة الى حدّ المنشار القاطع بوجه مستحسن

ولا يقتصر فى الحوابير المضرّسة على جعل حدّها القاطع مستقيما بل قد يكون مستديرا وقد يكون على شكل منحنيات متنوعة

ومحيط المناشير المستديرة (شكل ١٨) مملوء بالاسنان فهى بذلك شبيهة بالمناشير المعدّة لنشر الاجسام الصلبة جدّا (شكل ١٦) و بالمناشير المعدّة لنشر الاجسام التى دونها فى الصلابة (شكل ١٧) ولابدّ فى صناعتها من مزيد النشاط والمهارة فى سقاية المعادن المتخذة هى منها وليس هذا محله وفى العادة تصنع المناشير الصغيرة المستديرة من صفيحة من الفولاذ مركبة على محور من الحديد

واما المناشير المستقيمة فينشأ عنها ضرر دون غيرها من الآلات التى تحركها مترددة وذلك انها فى حالة رجوعها يكون زمن تلك الحركة خاليا عن الفائدة بخلاف المناشير المستديرة المستمرة التأثير فى جهة واحدة فان زمن الحركة فيها لا يخلو عن الفائدة

ويشترط فى المناشير المستديرة أن تكون شديدة السرعة فى الدفع حتى تعظم فائدة تأثيرها ويلاحظ حينئذ انه يكفى ضغط الجسم المراد نشره قليلا على المنشار حتى يحصل النشر مع غاية السرعة والسهولة ثم ان محاور المناشير المستديرة تكون موضوعة بالتوازى للسطح الافقى من التارجة ومعشقة بها بحيث يكون مستوى المنشار عمودا على مستويها فاذا اريد عمل منشورات تكون جميع واجهاتها عمودية على بعضها فان قطع الخشب المطلوب نشرها توضع على وجه بحيث تكون احدى واجهتيها وهى المجهزة للنشر متحركة على مستوى التارجة والاخرى متحركة مع مماستها الدليل ثابت موازلمستوى الطارة على بعد لائق وبتقديم قطعة الخشب المراد عملها يظهر بالبداهة أن مستوى المنشار يرسم فيها قطاعا موازيا للواجهة المستوية المستندة على الدليل فاذا تم عمل هذه الواجهة طبقت على الدليل وصارت واسطة فى عمل واجهة اخرى من القطع المراد نشرها ونتوصل بهذه الطريقة الى عمل منشورات مربعة اومستطيلة معلومة السمك ولا يخلو هذا العمل عن الفائدة التامة اذا اقتضى الحال عمل عدة منشورات متحدة الجسم

ولا مانع من استعمال المناشير المستديرة فى الترسانات البحرية والطوبجية وسائر ورش الصناعات مع الفائدة وقد استعملت هذه المناشير فى مملكة فرانسا وكنت اول من نقلها اليها من مملكة الانكليز

ولا بأس أن نذكر هنا على سبيل الاختصار المناشير الكبيرة المستديرة المعدة لنشر اخشاب الطبق كخشب الكابلى فنقول المنشار الكبير المستدير عبارة عن طارة قطرها ستة امتار تقريبا متركبة من تصاليب رفيعة جدا فى الجهة العمودية على مستوى المحور وعريضة جدا فى جهة هذا المحور مبتدأة منه

واخذة فى تناقص عرضها شيأ فشيأ كلما قربت من محيط الطارة وهذا المحيط محاط بعدة قسى من صفائح الفولاذ مضرسة يتكون من تواصلها المنشار المذكور ثم ان تلك الطارة تحرك بواسطة آلة بخارية وتكون كتلة خشب الكابلى مثلا المطلوب نشرها مثبتة على عربة تكون سرعتها المتزايدة مناسبة لسرعة الطارة وكلما دارت هذه الطارة غاصت فى الكتلة وفصلت عنها جزأ من سمكها يبلغ ٢ مليمتر تقريبا وينثنى هذا الجزء قليلا بمجرد انفصاله بحيث يكون على شكل محدب حادث من سطح دوران مركب من صفائح معدنية اوالواح خفيفة مثبتة على تصاليب الطارة وبهذه الطريقة تنشر اجزاء الطبق التى عرضها ٥ لبامتر ونصف تقريبا واعظم مناشير هذا النوع هو منشار المهندس برونيل الذى صنعه فى معامله التى فى باترسى قريبا من مدينة لندرة وكثير من الالات ماهو فى الحقيقة مناشير وذلك كالمناجل والمقاصل والمبارد وكيفية عمل المناجل والمقاصل (شكل ١٩ و ٢٠) أن يصنع محيطها وهو ا ب ث على وجه بحيث يكون له تضاريس واسنان هى كناية عن خوابير متقاربة من بعضها بالكلية ويحدث من حدها القاطع مع المحيط زاوية واحدة فى سائر جهاتها فكل قبضة من الزرع المحصود او الحشيش اليابس قابلت الالة تقطع من سمكها بواسطة الاسنان المذكورة فاذا كان التحرك سريعا جدا اخذت المقاومة فى التناقص بحيث تقطع العيدان النباتية وهى ب بدون تكسر والاوجب أن يبذل فى قطعها قوة عظيمة بتحريك الالة عموديا على محورها ولا يخفى مافى هذه الحالة من المشابهة البينة بين تأثير المنجل والمقصل والمنشار المستدير

وقد صنعوا من هذا القبيل سيوفا حدها القاطع ذو اسنان وتضاريس وهى اسلحة فظيعة عظيمة التأثير لاتلايم الا اهل التبربر والخشونة

وما يسمى عند اهل المشرق بالشاكرية له تأثير كتأثير المنشار المستدير فترى الرجل من اهل آسيا بدلا عن كونه يطعن بها عموديا على حدها القاطع يقبض عليها ويجعلها على اتجاه يده حتى تصل الى الشىء المراد قطعه وتجرحه فعند ذلك

تغوص فى الجرح اسنان الحدّ القاطع على التوالى فيكون تأثير تلك الاسنان الغائصة كتأثير اسنان المنشار فلذا كانت جروح الشاكريات بهذه الطريقة أعمق وأعرض مما اذا كانت حاصلة من الطعن بالحدّ القاطع طعنا عموديا على السطح المراد قطعه

واما المبارد والمحكات (شكل ٢١ و ٢٢) فهى كناية عن سطوح مضرّسة لها اسنان كالخوابير الصغيرة المتساوية التى تكون عادة مستوية الوضع اى مصنوعة على ميل يحدث منه مع محور المبرد او المحك زاوية تبلغ ٤٥ درجة فاذا تقدّم المبرد اوتأخر على سطح الجسم المراد صقله حدث على ذلك السطح من الخوابير حزوز متساوية يعقبها ملوسة السطح وصقالته فى رأى العين وذلك لشدة تواصلها او تلاصقها ثم ان الاولى فى استعمال المبارد ما كان له اسنان كثيرة وصغيرة جدّا اذ به ينقص بالتدريج عرض وعمق الحزوز التى تحدث على سطح الجسم المطلوب صقله حتى تكثر ويقل عمقها بحيث لا يمكن ادراك تجويفه بحاسة البصر فعند ذلك يظهر للناظر أن السطح المبرود على غاية من الصقالة ومما ينبغى التنبيه عليه أن المبرد لا يحصل تأثيره فى جهة واحدة بل ينتقل بالتدريج على سطح الجسم المراد صقله فى اتجاهات مختلفة وبذلك تتقاطع الحزوز وتزول خشونتها

واما اذا كانت اسنان المبارد والمحكات ليست على بعد واحد من بعضها فلا يمكن أن تصقل سائر اجزاء سطح الجسم المفروض صقلا مستويا فلابد فى جودة الصقل من أن تكون المبارد والمحكات محكمة الصناعة ومنتظمة انتظاما هندسيا

ومما ينتظم فى سلك المبارد والمحكات الكردات وهى عبارة عن خوابير متفرقة عن بعضها وطويلة جدّا ومتوازية ولها شبه باسنان المبارد التى على وضع مستو ولكن ليس الغرض منها الصقل وازالة ما فى سطح الجسم من الخشونة وانما تستعمل لنظم الخيوط فى اتجاهات معينة وتدخل فى النسيج غير المنتظم الحادث من هذه الخيوط فتقسمه الى خيوط رفيعة جدّا ثم تنظم تلك الخيوط

بواسطة تأثير ضغط خفيف

وللشينة المعدة لتسريح الصوف المسماة عند العامة بالشيخة تأثير كتأثير الخوابير ومن هذا القبيل ايضا الحدايد التي تطمر بها الخيل وهي مركبة من عدة صفائح مسننة متجهة بالتوازي لبعضها ومتحركة بقوة مشتركة وكذلك المشط المعد لترجيل الشعور وتسريحها واما محكات السكر (شكل ٢٣) والفرش والمقشات فتأثيرها كتأثير المنشار وذلك كالخرق المعدة لحك الامتعة وتكميل صقل السطوح

وكذلك المسلفة والجرفة فتأثيرها مشابه لما ذكر في تنظيم سطح الارض * هذا ولم نستوف جميع آلات هذا النوع

ويستعمل في صقل محصولات الصناعة اجسام متركبة بالطبع من اجزاء صغيرة هي في الحقيقة خوابير حادة وصلبة جدا فمن ذلك حجر الحرفش وحجر السن فانهما معدان لصقل السطوح ويزيد الثاني اى حجر السن باختصاصه بسن الآلات القاطعة وما يوجد بسطحه المتبلور من الخوابير العديدة يستعمل في اصطناع السطوح الكبيرة المتواصلة من الآلات القاطعة وهنالك احجار سطحها الاصطناعي مستو واخرى سطحها الاصطناعي مستدير

وليست احجار الطواحين مقصورة على دق الحبوب وتفتيتها بل تفلقها وتطحنها بتأثيرها الشبيه بتأثير الخابور ويعين على ذلك الافاريز المصنوعة في السطح المستوي من هذه الاحجار

ولما انهينا الكلام على الخوابير المنشورية اى التي على شكل المنشور ناسب أن نتكلم على الخوابير المخروطية او الهرمية كالمنقاش والمسامير وبعض الاسلحة والآلات المستعملة في الفنون الحربية والملكية فنقول اذا اريد ادخال منقاش او مسمار مخروطي او هرمي (شكل ٢٤ و ٢٥) في جسم يقاوم ذلك فان كانت المقاومة مناسبة للانفراج الحاصل بين اجزاء هذا الجسم ولكمية النقط التي يلزم بعدها عن بعضها امكن أن نبرهن على أن الجهد اللازم لادخال المسمار او المنقاش يكون مناسبا لمقدار ايغراس الجزء المفروض

غوصه

غوصه من ذلك المنقاش او المسمار لان هذا المقدار مأخوذ بالنسبة لمحور المسمار او المنقاش المعتبر كهرم او خابور

ومن الخوابير الهرمية او المخروطية ايضا كثير من الآلات المستعملة فى الصناعة كالسفود والخنجر والسنجة والابرة والدبوس وآلات الحفر والنقش وما اشبه ذلك و يشاهد فى الحيوانات ماهو على صورة خوابير متنوعة الشكل لاجل الافتراس او الذب بها وذلك كالاسنان والقرون والاظافر والمخالب ونحوها ومثل ذلك كثير جدّا لا يمكن حصره

وقد ابتدع ارباب الصنايع تركيبا بديعا لاتحاد انواع البريمة والخابور حيث ان كلا منهما على انفراده يحصل به التوازن بين المقاومة الكبيرة والقوة الصغيرة وباجتماعهما يحصل التوازن بين قوة اصغر من المتقدمة بالنسبة للمقاومة

ومن هذه الآلات المركبة ما الغرض منه الدخول فى الاجسام كالمثقاب والمسمار ومنها ماهو معدّ لقطع الاجسام فاذا فرضت خابورا مخروطيا ممتدّا جدّا وثنيت هذا الخابور على صورة الحلزون حدث من ذلك الآلة المعروفة بالبرمة او كماشة المدفع التى الغرض الاصلى منها الدخول فى السدادة او فى ممسحة الاسلحة النارية

ولاجل تحصيل النسبة بين القوّة والمقاومة فى مثل هذه الآلة يلزم أن نلاحظ انه اذا كانت هذه الآلة بريمة كانت النسبة الحاصلة بين القوّة والمقاومة كنسبة المحيط المقطوع بهذه القوّة الى خطوة البريمة ثم ان كان طرف البرمة او كماشة المدفع مثقابا كانت النسبة الحاصلة بين القوّة والمقاومة كنسبة طول هذا الخابور المفروض الى سطح قاعدته مضروبا فى مربع نصف قطر هذه القاعدة فيكون حاصل هاتين النسبتين هو عين حاصل النسبة الواقعة بين القوّة والمقاومة غير أنه يلزم التنبيه على أن الاحتكاك يعدم جزأ عظيما من القوّة وهى مع ذلك اكبر من المقاومة

والنوع الثانى من اتحاد البريمة والخابور وهو اجتماعهما معا له اهمية عظيمة

وهوا كثر استعمالا من الاول ويدخل فيه المثاقيب الكبيرة والخارز ونحوهما (شكل ٢٦ و ٢٧) فاذافرضنا خابورا مثبتا على طول ضلع الاسطوانة وفرضنا أن هذه الاسطوانة تحرك تحركا مستديرا في كل وقت يمكن أن نعتبر أن هذا الخابور مدفوع بقوة واقعة على حده القاطع و يعظم تأثير هذه القوة كلما كان الخابور في زاوية حادة جدا بالنسبة للجسم المطلوب خرطه

واذا فرضنا الآن ضلعا منثنيا انثناء حلزونيا بدلا عن الضلع المستقيم فان الحد القاطع من الخابور عوضا عن كونه يقطع الجسم قطعا عموديا على اتجاه التحرك الحاصل له يقطعه قطعا مائلا و يكون تأثيره كتأثير الخابور المستقيم الذى يوجه اتجاها مائلا كالشواكر في هذه الصورة تعظم القوة بالنسبة للمقاومة حتى ينشأ عن حلزون الحد القاطع مع ضلع الاسطوانة المنثني عليها هذا الحلزون زاوية كبيرة فاذا أريد عمل مثاقيب كبيرة تامة الصلابة لزم الاهتمام بجعل حدها القاطع حادا جدا وحادثا عنه مع ضلع الاسطوانة المجعولة محورا لهذه الآلة زاوية كبيرة

وتجد في المثاقيب والمخارز فراغا عظيما في خلال كل خطوة من خطوات البريمة الحادثة عن خيوطها الحادة ومتى ثقبت تلك الآلة الجسم المطلوب ثقبه انفصلت عنه اجزاء تكون صورتها على شكل الحلزون وتتصرف في الفراغ الموجود بين ادوار تلك الخيوط ومع ذلك فلا بد من التنبيه على أن تلك الاجزاء لا تشغل الاجزاء من الاسطوانة الكلية التى يثقبها المثقاب او المخراز وعلى انها تكون ممتدة او منكمشة بمجرد انفصالها وهذا الانكماش يضر بتأثير الآلة ولكن لاجل منع ازدياده من زمن الى آخر نجذب المخراز او المثقاب كى تخرج الاجزاء المنفصلة ثم نأخذ في الثقب ثانيا ويكون العمل بعد ذلك سهلا

وقد عمل المهندس استفان بريس في الآلة المعروفة بالمقراض لكونها تزيل وبر الجوخ عملية بديعة تتعلق بالبريمة والخابور واول من جلب هذه الآلة الى مملكة فرانسا هما المهندسان المسمى كل منهما بوبارد وقد حسنها المهندس يوهن كوليير تحسينا بينا ولاجل تصورها نفرض آلة قاطعة

كالوبى معوجة على صورة الحلزون ممتدّة وملتفة على محيط اسطوانة مجوفة
ونضع بمماسة الاسطوانة التى يقطعها الحدّ القاطع من الصفائح الحلزونية
صفيحة ثابتة مستقيمة وموازية لمحور هذه الاسطوانة وتحت هذه الصفيحة
بالقرب منها جدّا بحيث يكون للقماش المراد ازالة وبره محل يوجد مسند مواز
ايضا للصفيحة الثابتة ومحور الاسطوانة فيحد احد طرفى الجوخ عند مدّه جدّا
مشدودا وملتفا على قرص بكرة بخلاف الطرف الآخر فانه يكون منحلا من
فوق اسطوانة اخرى مخصوصة وبمجرّد مرور الجوخ بين المسند والصفيحة
الثابتة يلاقى صفيحة حلزونية تتقدّم بحسب ميلها على طول تلك الصفيحة
وتزيل جميع ما يكون بارزا على القماش من الوبر فتى جاوزت الآلة الحلزونية
عرض الجوخ شرعت فى ازالة الوبر آلة اخرى حلزونية ابطأ حركة من الصفائح
الحلزونية

(الدرس الثالث عشر)

(فى بيان ما يقع فى الآلات من الاحتكاك)

اذا كانت الاجسام مصقولة صقلا تاما امكن أن تتزحلق على بعضها بدون أن
يعرض لها ادنى مقاومة من تماسها ببعضها فاذن يجرى هنا جميع النسب
البسيطة السهلة التى تكون بين القوى والمقاومات بدون حدوث تغيير فى سائر
الآلات التى ذكرناها على اختلاف انواعها ولكن لا يمكن أن يكون سطح
الاجسام بهذه المثابة من بلوغ الغاية فى الصقل فلا مانع حينئذ من تحرك
الاجسام على بعضها بدون أن يحصل من خشونة مسطحاتها ادنى مقاومة
تبطل هذا التحرك ومثل هذه المقاومة يعرف بالاحتكاك

فاذا اريد حينئذ معرفة المقدار الحقيقى لتأثير القوى الواقعة على الآلات لزم
معرفة قيمة مقدار الاحتكاكات وضم هذه المقاومة الجديدة الى المقاومات
المعلوم مقدارها الحقيقى من النظريات

ومن الطبيعيين والمهندسين من بحث بالتعاقب عن قوانين الاحتكاك سالكا

فى ذلك مسلك النظريات والعمليات مثل اموننونس وموشمبورديك وكاموس وبوسوت فهم الذين بحثوا عن هذه المسئلة بالتعاقب الا انهم لم يوفوا ابحاثها على ما ينبغى فاعتنى بتكميلها الشهير كلب بتجاريب بديعة وتوضيحات عظيمة تدل على فطنته وجودة قريحته

فينبغى الزام كل من تصدى لتكميل فنون الصناعة بالنسج على منوال كلب فى النظريات المتعلقة بالالات البسيطة مع الالتفات الى احتكاك الاجزاء الصلبة وانكماش الحبل ليظهر لهم بواسطة التجاريب التى يشرعون فيها انه يمكن وضع قواعد تسهل بها الحسابات التى لا يمكن معرفتها بمجرد النظريات بل لابد فى ذلك من ضميمة تلك التجاريب اليها

فلنفرض قبل الشروع فى معرفة تأثير سطحين يتزحلقان على بعضهما جسما موضوعا على مستو مائل ميلا كافيا فيلزم بمقتضى الدعوى النظرية المقررة فى شأن المستوى المائل أن الجسم يسقط بتأثير التثاقل مع سرعة معجلة تكون نسبتها للسرعة المعجلة لهذا الجسم الساقط بدون معارضة على مستقيم رأسى كنسبة ارتفاع المستوى المائل الى طوله ومع ذلك فقد يكون الجسم ساكنا فمن ذلك الورق والريش والدواة التى توضع غالبا على لوح التختة المائل بدون أن تنزلق على طول هذا المستوى فتكون بالبداهة مقاومة الاحتكاك اكبر من قوة التثاقل فاذا املنا بواسطة الاحتكاك هذا المستوى المستقرة عليه تلك الاجسام شيأ فشيأ فانا نصل الى الوضع الذى يكون مبدأ التحرك هذه الاجسام وهو وضع يكون فيه تثاقل الجسم من مبدأ الامر اكبر من مقاومة الاحتكاك فعلى ذلك لا مانع من سلوك هذه الطريقة فى معرفة درجة الاحتكاك الحادث بين اجسام متنوعة عند تحركها على بعضها ويستنبط من ذلك عدة فوائد مهمة

مثلا اذا كانت الاجسام موضوعة على المستوى المائل منذ مدة فانها لا تاخذ فى التحرك عليه الا اذا املناه اكثر مما اذا وضعت على مستو ميله معلوم وحصلت امالته باثر الوضع فعلى ذلك اذا استقرت الاجسام مدة من الزمن على مستو

مادى فانها تكتسب بذلك نوع التصاق به تزداد الموانع التى يلزم الظهور عليها والظفر بها

ولنؤثر على هذه الطريقة الطريقة التى جرى عليها كلمب مع بيان آلته فنقول

ان تلك الآلة عبارة عن تازجة صلبة (شكل ١) مثبت عليها لوحان كاوحى م م و م م غليظان ومتوازيان ومتلاصقان وكل من اطرافهما يزيد فى الطول على التازجة وبين النهايتين البارزتين من احد طرفى اللوح قرص بكرة محوره على اللوحين المذكورين كقرص ر وعلى النهايتين البارزتين من الطرف الآخر منجنون افقى كمنجنون ط ط

وعلى هذين اللوحين الغليظين تخشيبة من الالواح كتخشيبة ح ح جيدة الصقل يزيدان عنها فى الطول نحو متر ونصف وهى التى تتزحلق عليها الاجسام التى يراد عند تحركها معرفة مقاومتها الناشئة عن الاحتكاك وهذه الاجسام مسطحات من الخشب (شكل ٣) على اطرافها حالتا ث و ث المعدة احداهما لامساك طرف الحبل الذى يلتف على عمود المنجنون (شكل ١) وهذا الطرف هو محل تأثير القوة والثانية لامساك طرف الحبل الذى يمر بحلق قرص البكرة ويوجد على هذا الحبل تارة كفة ميزان ككفة ب (شكل ١) يوضع فيها اثقال بقدر ما يراد لاجل تنويع القوة وتارة رافعة كرافعة ل (شكل ٢) تؤثر فى هذا الحبل بواسطة ثقل كذراع القبان

ثم ان اول عملية اجراها كلمب بموجب هذه الطريقة هو انه وضع على لوح الاختبار نقالة (شكل ٣ او ٤ او ٥ او ٦) تتزحلق على هذا اللوح ثم تستقر لحظة من الزمن

وكان كل من النقالة (شكل ٣) واللوح المذكورين من خشب البلوط وهذا النوع من الخشب اذا استقرت عليه النقالة مدة ثانية او ثانيتين او ثلاث

ثوان الى عشر ثوان فلابد فى تحريكهامن قوة كبيرة غير أن القوة التى تستعمل عقب دقيقة فى بدء تحرك النقالة وهى قوة الضغط تكون مع قوة مقاومة الاحتكاك فى نسبة لاتتغير الامن ١٠٠ : ٣٢١ الى ١٠٠ : ٤٤٦ وان كانت الانضغاطات تختلف من ٢٧ كيلوغراما الى ١٢٣٠ كيلوغراما

ولاجل معرفة التأثير الناشئ عن سطح الاحتكاك الممتد كثيرا اوقليلا يسمر باسفل النقالة منشوران من البلوط كنشورى ط و ط (شكل ٤) وحيث ان جزء هذين المنشورين المماس للوح الاختبار مستدير على شكل اسطوانة لم يبق لسطح الاحتكاك من العرض الامقدار يسير فيكون حينئذ اتجاه المنشورين المذكورين موازيا لاتجاه تحرك النقالة ولافرق هنا بين مقاومات الاحتكاك متى تحركت النقالة بمجرد وضعها على لوح الاختبار اوبعد وضعها عليه بمدة يسيرة

وفى الانضغاطات التى تختلف من ٤٠٠ الى ١٣٠٠ كيلوغرام فى كل متر مربع لاتختلف نسبة الضغط الى القوة اللازمة للظفر بالاحتكاك الامن ١٠٠ : ٢٣٦ الى ١٠٠ : ٢٤٠ ومثل هذه النسبة يمكن اعتبارها ثابتة تقريبا وحينئذ يلاحظ انها مساوية تقريبا للنهاية الكبرى من نسبة الانضغاطات الى الاحتكاكات متى احتكت النقالة بجميع مسطح قاعدتها على لوح الاختبار فاذا اخذنا المقادير المتوسطة فى الصورتين بواسطة التجاريب وجدنا الفرق بينهما لايبلغ واحدامن ثلاثة وعشرين

فاذا كان الضغط صغيرا كان الاختلال كبيرا واذا كانت الاحمال كبيرة لم يظهر الخلل وتكون نسبة الضغط الى مقاومة الاحتكاك ثابتة تقريبا مهما بلغ امتداد السطح الواقع عليه الاحتكاك

ثم انهم بعد أن اختبروا احتكاك البلوط على البلوط اختبروا ايضا احتكاك الراتنج على البلوط استبدلوا المنشورين المتخذين من خشب البلوط الموضوعين اسفل النقالة بمنشورين من خشب الراتنج

وإذا تحركت النقالة بعد وضعها على لوح الاختبار بمدة يسيرة فان مقاومة الاحتكاك تصغر ما امكن لكنها بعد عشر ثوان تكبر بمقدار ما تبلغه بعد مضى ساعة .

فاذا بلغت مقاومة الاحتكاك نهايتها الاصلية بواسطة تأثير حمل عظيم كانت نسبة الضغط الى هذه المقاومة هى نسبة ١٥٠ : ١٠٠

واذا ثبتنا على لوح الاختبار قاعدتين من الراتنج تتزحلق عليهما النقالة التى استعملناها فى التجاريب المتقدمة فانه عند احتكاك الراتنج على الراتنج بهذه المثابة تكون دائما ادنى مقاومة للاحتكاك حاصلة متى تحركت النقالة باثر وضعها على لوح الاختبار الا انه اذا مضى على تلك المقاومة عشر ثوان كبرت بقدر ما لو مضى عليها ساعة وفى هذه الصورة تتغير نسبة الانضغاطات الى المقاومات من ١٨٥ : ١٠٠ اذا كان الضغط صغيرا الى ١٧٧ : ١٠٠ اذا كان كبيرا

ويحصل اختبار احتكاك خشب الدردار على الدردار بالكيفية المتقدمة وهى أن يسمر منشوران باسفل النقالة وقد ذكر كلب أن خشب الدردار الذى يجد منه الانسان عند اللمس لطافة ونعومة كالقطيفة هو فى التصاقه ببعضه اشد بطئا من سائر الاخشاب المتقدمة ويظهر به ازدياد الاحتكاك بعد مضى عدة ثوان ولا يبلغ نهايته الكبرى اذا كان الضغط يساوى ٢٢ كيلوغراما الا بعد استقرار الخشب اكثر من دقيقة وعلى ماذهب اليه هذا العالم الطبيعى من أن الضغط يتغير من ٢٢ كيلوغراما الى ٨٣٠ كيلوغراما تكون نسبة الضغط الى مقاومة الاحتكاك من ٢١٤ : ١٠٠ ومن ٢١٨ : ١٠٠ ، وهاتان النسبتان لكون ما بينهما من الفرق قليلا جدا يصح اعتبارهما متساويتين فى سائر نتائج العمليات المحضة

ولنذكر لك هنا ما بين ثقل النقالة وحملها ومقاومة الاحتكاك الناشئة عن هذا الثقل من النسب المتوسطة المستنبطة من التجاريب السابقة فنقول انه يحدث

عند احتكاك البلوط على البلوط	٢٣٤ : ١٠٠
وعند احتكاك البلوط على الراتنج	١٥٠ : ١٠٠
وعند احتكاك الراتنج على الراتنج	١٧٨ : ١٠٠
وعند احتكاك الدردار على الدردار	٢١٨ : ١٠٠

وفى سائر التجاريب التى اسلفنا الكلام على نتائجها يكون تزحلق الاخشاب على بعضها فى اتجاه عروق الخشب فقد وجهت فى تلك التجاريب المتوالية عروق منشورى ط ط المسمرين باسفل النقالتين اتجاها عموديا على عروق خشب لوح الاختبار (شكل ٥) وعلم مما سبق انه لابد من استقرار الخشب مدة من الزمن حتى تبلغ مقاومة الاحتكاك نهايتها الكبرى وان نسبة الضغط بلغت من ٢٥ كيلوغراما الى ٨٢٥ والنسبة بين هذا الضغط ومقاومة الاحتكاك هى دائما ثابتة تقريبا فانها عند احتكاك البلوط على البلوط مع قطع النظر عن عروق الاخشاب المتماسة تكون

٣٨٥ : ١٠٠	فى الانضغاطات الصغيرة
٣٦٧ : ١٠٠	فى الانضغاطات الكبيرة

وعند عدم المانع تعظم الفائدة فى احتكاك الاخشاب على بعضها اذا كانت عروق القطع المتماسة متجهة على بعضها اتجاها عموديا عوضا عن كونها تتزحلق على عروق قطعتين متماستين

ثم ان احتكاك المعادن على الاخشاب (شكل ٦) لابد فيه من مكث الجسمين متماسين زمنا طويلا حتى تبلغ مقاومة الاحتكاك نهايتها الكبرى واقل ما يلزم لذلك اربع ساعات او خمس بخلاف احتكاك الاخشاب على بعضها فان الدقيقة الواحدة تكفى فى كون المقاومة تاخذ فى الازدياد من زمن الى آخر فلا بد فى الصورة الاولى من طول المدة حتى تمنع هذه المقاومة عن الازدياد بالكلية

فاذا استقر الجسمان على بعضهما اربعة ايام تغيرت نسبة الانضغاطات الى مقاومة الاحتكاك من ٥٣٠ : ١٠٠ الى ٤٨٦ : ١٠٠

اذا كان تغير الانضغاطات من ٢٦ كيلوغراما الى ٨٢٥ كيلوغراما
ويحدث من النحاس مثل هذه النتائج فى الزمن الذى تبلغ باثره مقاومة
الاحتكاك نهايتها الكبرى وفى نسبة الضغط الى هذه المقاومة وهى
٥٠٠ : ١٠٠

وبعد تزحلق المعادن على الخشب يسمر على لوح الاختبار (شكل ٧)
قاعدتان من الحديد فى غاية من الاحكام والصقل تتزحلق عليهما قاعدتان
اخريان من الحديد ايضا مثبتتان اسفل النقالة
وفى هذه الصورة تظهر من اول وهلة اعظم مقاومة للاحتكاك فتكون النسبة
على هذا المنوال قدر الضغط ضغط مقاومة الاحتكاك

احتكاك الحديد على الحديد { ٢٥ كيلوغراما :: ٣٤٠ : ١٠٠
٢٢٥ كيلوغراما :: ٣٦٣ : ١٠٠ }

فيمكن أن نعتبر مقاومات الاحتكاك هنا مناسبة للانضغاطات تقريبا
وكذلك الحديد اذا احتك على النحاس الاصفر فان نسبة الانضغاطات فيه الى
مقاومة الاحتكاك تكون بهذه الصورة

قدر الضغط

احتكاك حديد على نحاس اصفر { ٢٥ كيلوغراما :: ٣٦٠ : ١٠٠
٢٢٥ كيلوغراما :: ٤٠٠ : ١٠٠ }

فاذا احتك الحديد على النحاس الاصفر وكانت ابعاد سطوح التماس صغيرة
ما امكن بأن جعل مثلا على قاعدتى النقالة المتخذتين من الحديد اربع مسامير
من النحاس رؤسها مستديرة ومثبتة باسفل النقالة حدثت هذه النسبة وهى

الضغط مقاومة الاحتكاك

اذا كان قدر الضغط ٤٣ كيلوغراما كانت النسبة ٥٩٠ : ١٠٠
واذا كان ٤٢٥ كيلوغراما كانت النسبة ٦٩٠ : ١٠٠

وهذه التجربة مترتبة على تنبيه مهم وهو انه بمجرد ما تحول على قاعدتى الحديد
النقالة المحاطة بمسامير من نحاس تكون النسبة ٥٠٠ : ١٠٠ ولكن

بعد حصول التحرك عدة مرات يصقل الحديد والنحاس صقلا تاما بواسطة احتكاكهما على بعضهما فتصير هذه النسبة ٦٠٠ : ١٠٠ وبذلك تنقص مقاومة الاحتكاك وحينئذ فالاحجار والرمل وسائر الآلات التى تستعمل فى الصقل لا تزيل خشونة سطوح الاجسام بالكلية وانما يزيلها الاستعمال بواسطة الانضغاطات العظيمة التى تحصل عند سرعة تحرك الآلات .

وفى كثير من الفنون اذا اريد تنقيص مقاومة احتكاك سطحين يتزحلقان على بعضهما يوضع بينهما اجسام دسمة كالزيت والدهن وشحم الخنزير القديم وما اشبه ذلك وهذا هو ما يغلب استعماله فى ذلك الغرض ولا بد من معرفة الدرجة التى تبلغها الادهان فى تنقيص المقاومات وقد استعمل كلمب فى مبدء الامر الشحم النقى

ولا تبلغ المقاومة بهذا الدهن نهايتها الكبرى الا بعد مضى مدة طويلة جدا فاذا مضت خمسة ايام او ستة كبرت هذه المقاومة عما كانت عليه اولا بنحو ١٤ مرة اذا كان سطح التماس كبيرا بالنسبة للضغط واما اذا كان صغيرا فان نسبة الانضغاطات الى المقاومات تبلغ نهايتها الكبرى سريعا

وقد وضع الدهن فى التجاريب المتقدمة مدة يسيرة ووضع ايضا فيما بعدها من التجاريب مدة ثمانية ايام فكان على غاية من الصقل الا أن دسامته قلت عما كانت عليه اولا وكانت ايضا مدة استقرارها لها تأثير عظيم فى مقاومة الاحتكاك ولوحظ أنه اذا استقر بقدر هذه المدة حدث عنه مقاومة ادنى من مقاومة الدهن الموضوع منذ مدة يسيرة

ثم ان كلمب اوقع الاحتكاك بين قاعدتين من النحاس مثبتتين باسفل النقالة واخريين من الحديد مثبتتين بلوح الاختبار ومدهونتين بشحم جديد يبلغ سمكه ٥ مليمتر تقريبا فازدادت مقاومة الاحتكاك فى مبدء الاستقرار ثم بلغت نهايتها الكبرى بعد مضى مدة يسيرة

واذا قطعنا النظر عن التصاق السطحين المتماسين الذى هو كناية عن كمية ثابتة

حدث

حدث عن تحريك النقالة بدون واسطة أن مقاومة الاحتكاك تكون مناسبة للانضغاطات فى نسبة ١٠٠ : ١١١٠ ولما كان تأثير الالتصاق كما ذكرنا مهملا بالنسبة للاحمال العظيمة كان للدهن فائدة عظيمة اذ بدونه يحدث من ضغط قدره ٦٠٠ كيلوغرام ١٠٠ كيلوغرام من مقاومة الاحتكاك بخلاف ما اذا كان الدهن بالشحم فلا تحصل المائة المذكورة الا بضغط قدره ١١١٠ كيلوغرام وبالجملة فتى كانت السطوح مدهونة بالشحم لم تتغير نسبة الانضغاطات الى مقاومات الاحتكاك اصلا مهما كان امتداد السطوح المتماسة وهذا اذا كان مقدارها غير مناسب للضغط بالكلية وايضا قد يكون هذا الضغط صغيرا بقدر ما يراد من غير أن تتغير النسبة فاذا لم تتحرك النقالة الا حين بلوغ مقاومة الاحتكاك نهايتها الكبرى كانت النسبة عند استخراج تأثير الالتصاق هكذا

٩١٠ : ١٠٠ فى الانضغاطات الصغيرة

٩٩٠ : ١٠٠ فى الانضغاطات الكبيرة

واذا حصل الدهن بزيت الزيتون عوضا عن الشحم بلغت مقاومة الاحتكاك نهايتها الكبرى من مبدء الامر تقريبا وكانت مساوية $\frac{1}{6}$ المضغوط بما تغيرت من $\frac{1}{6}$ الى $\frac{1}{7}$ اذا استعمل فى الدهن شحم الخنزير القديم فعلى ذلك يكون الشحم الجديد اعظم نفعا فى صورة ما اذا كان الاحتكاك بين النحاس والحديد

ولا يكفى فى الظفر بالمقاومة الحاصلة لتحرك جسم حين استقراره على سطح مجرد معرفة القوة اللازمة لذلك بل لا بد ايضا من معرفة الكيفية التى تتغير بها المقاومة على حسب ما يكون للجسم من السرعة الكبيرة ثم ان الآلة التى سبق ذكرها هى المستعملة فى ذلك دائما غير أن رمانة القبان (شكل ٢) التى الغرض منها أن يكون للجسم فى التحرك قوى درجة تستبدل بالحبل والكفة (شكل ١) الحاملة اثقالا بواسطتها يكون للجسم سرعة معجلة فيحصل الاحتكاك مع الجفاف بدون دهن وتتحرك النقالة على لوح الاختبار بما تحمله تدريجا من

الانقال التى يحدث منها لهذه النقالة سرعة تكبر شيأفشيأ

واذا كانت النقالة موضوعة على لوح الاختبار وحاملة لثقل يطلب معرفة تأثيره فاننا نحمل على الكفة بالتوالى اثقالا متنوعة ثم نحرك النقالة تارة بدق المطرقة دقات خفيفة وتارة بدفع النقالة من خلفها بواسطة رافعة ويوجد فى احد اطراف لوح الاختبار الطولية تقاسيم مضبوطة بحيث تدل نهاية النقالة عند قطع هذه التقاسيم على المسافات المقطوعة وبالجملة فتقدر مدة التحركات بكيفية ترجح على غيرها فى التجاريب القليلة الضبط المراد عملها وهى كيفية البندول الذى تمكث كل رجة من رجاته نصف ثانية

ويلزم ملاحظة القوة التى لابد منها فى مبدء تحرك النقالة ثم تستعمل فى اثناء ذلك قوة متوسطة وفى الآخر تستعمل قوة كبيرة ويلزم ايضا ملاحظة الزمن الذى لابد منه فى قطع النقالة مسافتين قدرهما ٦٦ سنتمتر

والزمن الذى تستغرقه النقالة فى قطع المسافة الاولى هو على العموم ضعف الزمن الذى تستغرقه فى قطع المسافة الثانية تقريبا غير أن الجسم المتحرك بقوة معجلة ثابتة الذى يقطع مسافتين متساويتين على التعاقب يستغرق تحركه ازمنة تكون نسبتها الى بعضها :: $\sqrt{10000}$: $\sqrt{20000}$ فتستغرق النقالة حينئذ ١٠٠ وحدة من الزمن فى قطع الجزء الاول من المسافة و ١٤٢ وحدة ايضا من الزمن المعد لقطع الجزء الاول مع الثانى فلا يزيد زمنه على الاول الا ٤٢ وحدة

فعلى ذلك يكون تحرك النقالة الناشئ عن القوة المعجلة الثابتة وهى قوة تثاقل الاثقال منتظم العجلة وذلك يستلزم أن مقاومات الاحتكاك لا تعدم فى كل وقت الا كمية مناسبة من القوة التى يزيدها التثاقل فاذن تكون مقاومة الاحتكاك كمية ثابتة مهما كانت سرعة الاجسام المتماسة

ومع ذلك اذا كانت السطوح المتماسة كبيرة فان الاحتكاك يزيد بازدياد السرعة وبالعكس بمعنى انه اذا كانت السطوح المتماسة صغيرة فان الاحتكاك ينقص قليلا بانتقاص السرعة ايضا غير أن ما بين هاتين الصورتين من

الاختلاف

الاختلاف لا يغير شيأ فى جودة النتيجة التى ذكرناها فى اغلب العمليات وقد عين كلب بحسابات وان كانت مختصرة على قدر الكفاية الا انه يطول بيانها هنا ما بين الانضغاطات والاحتكاكات الحادثة عنها من النسب فى التجاريب الستة الآتية التى تتنوع فيها السرعة بحيث تفوق ما يحصل فى العمليات من الانضغاطات العظيمة وهاك بيان ذلك

احتكاك واقع على سطح يبلغ امتداده ١٠٥٥ سنتيمترا مربعا محمل بهذه المثابة الآتية

تجربة	ضغط	نسبة
تجربة اولى	٢٥ كيلوغراما	٧ر٥
تجربة ثانية	١٨٨	٤ر٩
تجربة ثالثة	٢٩١	٥ر٩
تجربة رابعة	٨٢٥	٤ر٩
تجربة خامسة	١٧٨٨	٢ر٩
تجربة سادسة	٦٥٨٨	٤ر١٠

وفى هذه التجاريب يكون اتجاه عروق خشب بلوط النقالة هو عين اتجاه عروق خشب لوح الاختبار ثم توجه عروق خشب النقالة اتجاها عموديا على عروق خشب لوح الاختبار ومن وقتئذ لا يحصل فى نسبة الانضغاط الى الاحتكاك الا تغير قليل جدا سواء كانت السطوح المتماسة متسعة او كانت قضبانا ضيقة كحدود السكاكين الغليظة وقد اورد كلب فى ايضاح هذا التغير عبارة بديعة لا بأس بايرادها هنا فنقول

اذا كانت القواعد المصنوعة على صورة خابور والمثبتة باسفل النقالة تتزحلق على عروق الخشب فان نقط لوح الاختبار تصل الى اطراف القواعد فتبقى هنالك مضغوطة حتى تقطع النقالة مسافة بقدر طولها وحيث ان طول النقالة ٤ دسيمترات فاذا كان التحرك مثلا ٤ دسيمترات فى كل ثانية فان كل نقطة من نقط اللوح تنضغط مدة ٤ ثوان وحينئذ يحدث عن عدم تساوى السطوح

الناشئ عن التصاقها ببعضها مقاومة بها تتغير الصورة التى تكون لها عند الانضغاط ومع ذلك فالمدة المذكورة التى هى ٤ ثوان تكفى فى تغيير صورة تلك السطوح ونحن جزمنا فعلى ذلك اذا كانت النقالة المستندة الى زوايا مستديرة تنزحلق على عروق الخشب فان الاحتكاك يصغر بالمناسبة فى الانضغاطات الكبيرة والصغيرة واما اذا كانت هذه القواعد المصنوعة على صورة خابور موضوعة فى طرف النقالة فان كل نقطة من نقط لوح الاختبار عند تحرك النقالة لا تكون مدة انضغاطها الا بقدر مرورها على الزاوية وهذه المدة ليست طويلة بحيث تكفى فى تغير عدم التساوى تغيرا بينا فيلزم اذن أن يكون الاحتكاك فى هذه الصورة كالاحتكاك فى صورة ما اذا كان امتداد السطوح متناهيا وحيث انه فى كلتا الصورتين لا تتغير صورة عدم التساوى الا بكمية يسيرة فان عدم التساوى المذكور يكون متداخلا فى بعضه بدون مانع

وجميع ما اسلفناه من النتائج انما هو فى صورة احتكاك البلوط على البلوط واما فى صورة احتكاك الراتنج على الراتنج والدردار على الدردار فان نسبة الضغط الى الاحتكاك تكون على هذا الوجه

راتنج على راتنج	٦ : ١
دردار على دردار	١٠ : ١

وفى صورة مماسة الاخشاب للمعادن يكون الاختلاف اظهر مما فى صورة مماسة الاخشاب للاخشاب

فيثبت من مبدء الامر باسفل النقالة قواعد من حديد معدة للاحتكاك على لوح الاختبار المتخذ من البلوط واياما كان الضغط بالنسبة الى السرعة الهينة يكون الاحتكاك على الثلث من هذا الضغط تقريبا وتكون نسبة ضغط النقالة الى القوة التى تسيرها فى كل ثانية خطوة كنسبة ٦ : ١ وهذا الفرق العظيم الواقع فى النسبة لا يحصل عند ازدياد المسرعة فى السطوح الصغيرة المتماسة التى تضغطها اثقال كبيرة ولا فى الاخشاب المصنوعة ويكاد يبطل تأثير السرعة فى الاحتكاك اذا مضى بعد الاحتكاك عدة ساعات

وفى

وفي جميع التجاريب الاتي ذكرها تكون الاجسام المتماسة مغمورة بالدهن والذي يلايم تنقيص احتكاك الاخشاب من الادهان هو الشحم ودهن الخنزير القديم واما الزيت فلا يستعمل الا في المعادن ولما كانت الادهان من الاجسام اللينة الرخوة كان تلطيفها لاحتكاكات السطوح انما هو بملء تجاويف تلك السطوح بالادهان المذكورة وتوسيطها بينها وجعلها على بعد واحد من بعضها وهذا هو السبب في أن الادهان الشديدة الرخاوة تكون دائما رديئة جدا بالنسبة للانضغاطات العظيمة فاذا كانت السطوح المتماسة زوايا مستديرة نقصت الادهان احتكاك النقالة قليلا واذا مرت النقالة التي لها سطح تماس كبير مرتين او ثلاثا على شحم واحد شوهد أن هذا الشحم ينطبق على اللوح ويدخل في مسام الخشب ولا يقاوم تعشق الاجزاء ببعضها الا مقاومة واهية وقد ازداد الاحتكاك ازديادا عظيما في عدة تجاريب تكرر استعمالها بدون تجديد دهن ولنذكر لك هنا قبل أن نتكلم على التجاريب الحاصلة في صورة دهن الاخشاب في كل مرة السبب الذي ينشأ عنه غالبا عدم ضبط النتائج فنقول

اذا تمم الصانع عمل لوح الاختبار والنقالة واهتم كل الاهتمام بتحسين سطوحهما وصقلها بالفارة الكبيرة اورق السمك او بزحلقتهما على بعضهما عدة مرات وهما جافان فانا مع ذلك نرى عند دهن السطوح انه ينشأ عنها في الاحتكاك مقدار كبير من عدم التساوي يعظم بقدر كبر امتداد السطوح وصغر الضغط وبه يزداد الاحتكاك ازديادا ظاهرا بالنسبة لازدياد السرعة وليس لهذا الاختلاف قواعد صحيحة تضبطه ولا براهين نظرية تحققه غير أن النقالة اذا تزحلقت بمعاونة الدهن بالشحم او دهن الخنزير القديم عدة ايام متوالية وكان عليها اثقال جسيمة كان الاحتكاك دائما مناسبا للضغط تقريبا وبذلك لا تزيد النسبة بزيادة السرعة الا زيادة هينة

ولاجل تعيين تأثير الدهن بالشحم الذي يتجدد في كل تجربة من التجاريب الآتية في احتكاك البلوط على البلوط تستعمل النقالة التي استعملت

منذ ثمانية ايام فى التجاريب الحاصلة فى شأن الاحتكاك وقد جرب الدهن بالشحم المتجدد فى اغلب المرات اكثر من مائتى مرة وكان الواقع على كل دسيمتر مربع ضغط عدة قناطير

فظهر فى الخمسين الاولى من تلك التجاريب اختلال عظيم وكان ما بعدها دونها فى الضبط وكان كل من النقالة ولوح الاختبار يظهر أنه قد بلغ الغاية فى الصقل الذى يقبله خشب البلوط وهاك نتيجة التجاريب الستة التى عملت فى شأن سطح تماس يبلغ امتداده ١٣ دسيترا مربعا

تجربة اولى $\frac{\text{ضغط}}{\text{احتكاك}} = \frac{٣٢٥٠}{١١٥} = ٢٧ ر ٦$

تجربة ثانية $= \frac{١٦٥٠}{٦٤} = ٢٥ ر ٨$

تجربة ثالثة $= \frac{٨٥٠}{٣٦} = ٢٣ ر ٦$

تجربة رابعة $= \frac{٤٥٠}{٢١} = ٢١ ر ٥$

تجربة خامسة $= \frac{٢٥٠}{١٣ ر ٥} = ١٨ ر ٥$

تجربة سادسة $= \frac{٥٠}{٦ ر ٥} = ٧ ر ٧$

والنتيجة هنا مشكلة من وجهين احدهما المقاومة الثابتة الناشئة عن التصاق اجزاء الشحم ببعضها وامتداد السطوح والثانى المقاومة الناشئة عن مجرد الاحتكاك فاذا طرحنا هذه الكمية الثابتة حدث

تجربة اولى $\frac{\text{ضغط}}{\text{احتكاك}} = \frac{٣٢٥٠}{١١٣} =$ ٢٨٫٧

تجربة ثانية $= \frac{١٦٥٠}{٥٩} =$ ٢٧٫٩

تجربة ثالثة $= \frac{٨٥٠}{٣١} =$ ٢٧٫٤

تجربة رابعة $= \frac{٤٥٠}{١٦} =$ ٢٨٫١

تجربة خامسة $= \frac{٢٥٠}{٨٫٥} =$ ٢٩٫٤

تجربة سادسة $= \frac{٥٠}{١٫٧٥} =$ ٢٨٫٦

وماذكرناه من التفاصيل يكفي في بيان حكمة تجاريب كلب المتوالية التي عملها في شأن احتكاك عدة انواع من الخشب على بعضها واحتكاك اخشاب على معادن واحتكاك معادن على معادن مدهونة وذلك لا يخرج عن الصور الآتية وهي

اولا أن يحدث عن احتكاك الاخشاب المتزحلقة على بعضها وهي جافة بعد استقرارها مدة كافية مقاومة مناسبة للانضغاطات تزيد في مبادي الاستقرار زيادة بينة الا انها تصل في العادة بعد مضي بعض دقائق الى حدها اونهايتها الكبرى

وثانيا اذا كانت الاخشاب تتزحلق على بعضها بسرعة ما وهي جافة فان الاحتكاك يكون ايضا مناسبا للانضغاطات الا أن شدته تكون دون المقاومة الحاصلة عند الاجتهاد في فصل السطوح عن بعضها بعد مضي بعض دقائق من الاستقرار فتكون مثلا نسبة القوة اللازمة لفصل سطحين من البلوط وتزحلقهما على بعضهما بعد مضي بعض دقائق من الاستقرار الى القوة اللازمة للظفر بالاحتكاك عند اكتساب السطوح درجة ما من السرعة

كنسبة ٩٥ : ٢٫٢٢ او ١٠٠ : ٢٣
وثالثا أن يكون احتكاك المعادن المتزحلقة على المعادن بدون دهن مناسبا ايضا للانضغاطات الا أن شدته لا تختلف سواء كان المطلوب فصل السطوح عن بعضها بعد مضى زمن ما من الاستقرار اوكان المطلوب بقاء اى سرعة منتظمة
ورابعا أن تكون نتائج احتكاكات السطوح المختلفة كالاخشاب والمعادن المتزحلقة على بعضها بدون دهن مخالفة بالكلية للنتائج المتقدمة لان شدة احتكاكات تلك السطوح بالنظر لى زمن الاستقرار تزداد مع البطئ ولا تصل الى حدها الابعد مضى اربعة ايام اوخمسة وربما زادت على ذلك لكنها فى المعادن تصل اليه بعد مدة من الزمن وفى الاخشاب بعد مضى بعض دقائق وهذا الازدياد يكون ايضا بطيأ بقدر ماتكون مقاومة الاحتكاك فى السرعة غير البينة مساويه تقريبا لامقاومة التى يمكن مجاورتها عند ارتجاج السطوح اوانفصالها عن بعضها بعد مضى ثلاث ثوان اواربعة من الاستقرار وليس ذلك عاما فى جميع الصور فان السرعة فى الاخشاب المتزحلقة على بعضها بدون دهن وكذلك فى المعادن المتزحلقة على بعضها الا تؤثر فى الاحتكاكات الا تأثيرا هينا ولكن الاحتكاك هنا يزيد زيادة بينة بازدياد السرعة وبالجملة فالاحتكاك يزداد على وجه التقريب الحسابى بازدياد السرعة على وجه التقريب الهندسى ولنذكر لك قضية كتاب النظرية فنقول
لا يتأتى الاحتكاك الا من اشتباك خشونة السطوح ببعضها ولا يؤثر فيها الالتصاق الا تأثيرا هينا لان الاحتكاك فى سائر الاحوال مناسب تقريبا للانضغاطات ولا علاقة له بامتداد السطوح وحينئذ يكون الالتصاق بالضرورة مؤثرا على حسب عدد نقط التماس اوعلى حسب امتداد السطوح ومع ذلك فلما كان هذا الالتصاق ليس معدوما بالكلية بذلنا الجهد فى تعيينه بالتجاريب السابقة المتنوعة فوجدناه يساوى نحو ٨ كيلوغرامات فى كل متر مربع من سطوح البلوط غير المدهونة ولكن يمكن

فى

فى العمليات اهمال المقاومة الحاصلة من هذا الالتصاق كلما كثرت الكيلوغرامات على المتر المربع

وليست السطوح فيما ذكر من العمليات متغيرة عن اصلها بالدهن فعلى ذلك لا يمكن أن تغير الحوادث الا تغيرا لا بدّ منه فى طبيعة الاجزاء التى تتركب منها الاخشاب والمعادن وذلك لان الاخشاب مركبة من الياف ممتدة واجزاء لينة مرنة والمعادن بعكسها فهى مركبة من اجزاء منزوية كروية صلبة غير قابلة للانثناء بحيث لا يمكن للضغط والجذب ولو بلغا اقصى الدرجات ان يغيرا صورة الاجزاء المتركب منها سطح تلك المعادن واما الالياف المتنوعة التى يتركب منها الخشب فيسهل انثناؤها فى سائر الجهات

ولاجل تقريب ماذكر نقول ان الالياف التى تستر سطح الاخشاب تتداخل فى بعضها كشعور الفرشتين عند ملاقاتهما

فاذا اريد تحصيل درجة الجذب الذى لا بدّ منه فى زحلقة احدى الفرشتين على الاخرى لزم اختبار وضع الشعور فى الزمن الذى يلزم فيه الاجتهاد فى فصل الفرشتين عن بعضهما بعد مضى مدة من الاستقرار وكذلك يلزم اختبار ماتكون عليه الشعور من الوضع المخالف متى كان لكل من الفرشتين عند تزحلقهما على بعضهما تحرك ايا ما كان

فلو وضعت حينئذ تخشيبة جيدة الصقل على اخرى تداخلت الالياف التى على السطوح فى بعضها بدون مانع

فاذا اريد الآن زحلقة التخشيبة العليا على السفلى فان الياف هذين السطحين تنثنى على بعضها حتى تماس بدون تعشق ومتى وصلت الالياف المتماسة الى هذا الوضع لم يتأت ميلها اكثر من ذلك وتكون زاوية ميلها المتعلقة بعمل الالياف واحدة فى جميع درجات الضغط فعلى ذلك لا بدّ فى جميع درجات الضغط من قوة تناسبه حتى لا تتعشق الالياف التى تتزحلق على بعضها بحسب زاوية هذا الميل

ولكن اذا انفصلت النقالة واستمرت على التزحلق انعدم تعشق الالياف

وبانعدامه يتخلل الالياف المتجاورة من سطح واحد فراغ فتميل تلك الالياف على بعضها حتى تماس وبناء على ذلك تكون زاوية ميلها اعظم من المتقدمة الأأن هذا الميل يكون واحدا فى سائر درجات الضغط فعلى ذلك يلزم فى السطوح المتحركة أن يكون الاحتكاك مناسبا للانضغاطات ولا يحصل تغير فى هذه القاعدة الا اذا آلت السطوح المتماسة الى اصغر ابعادها لانه اذا وقع على الاجزاء الداخلة من السطوح تأثير انضغاطات عظيمة امكن ميل الالياف ايضا وقد وجدنا ذلك فى النقالة الموضوعة على زاويتين مستديرتين من البلوط عند تزحلقها على عروق الخشب

وبالقاعدة المذكورة يسهل ايضاح هذه الملحوظة وهى انه متى تزحلقت قواعد البلوط الحاملة للنقالة فى جهة طولها وانضغطت نقط لوح الاختبار الثابت الموضوعة تحت هذه القواعد فى المدة التى تستغرقها النقالة فى قطع طولها كان هذا الزمن كافيا فى ارتخاء السطوح وميل الالياف ميلا كثيرا بحيث تكون اطرافها متماسة لكن اذا كانت الزوايا الحاملة للنقالة موضوعة فى طرف النقالة ومارة منها فان نقط تماس الالياف مع لوح الاختبار الثابت لا تجد زمنا ترتخى فيه بكيفية محسوسة لعدم وقوع تأثير الانضغاط عليها الا فى مدة يسيرة وتكون نسبة الضغط الى الاحتكاك واحدة فى سائر الانضغاطات كبيرة كانت اوصغيرة

وليست المعادن مركبة من الالياف ولا من اجزاء لينة ولا يتغير وضع تجويف شكلها على اى حالة كانت فعلى ذلك اذا كانت النقالة متحركة او ساكنة فان شدة الاحتكاك تكون واحدة دائما لان لها تعلقا بصورة العناصر المادية التى تتركب منها السطوح وبميل المستوى المماس فى نقط التماس

فاذا تزحلقت الاخشاب على المعادن دخلت ألياف الخشب المرنة فى التجويفات وحيث ان تلك الالياف لينة مرنة كان دخولها فى التجويفات المذكورة تدريجيا فعلى ذلك تزداد مقاومة الاحتكاك كلما طال زمن الاستقرار الذى يعقب الجهد المبذول لاجل تزحلق السطوح على بعضها ولكن اذا فرضنا

ان

أن النقالة متحركة فان صورة الالياف التى تستر سطوح الخشب ترتخى عند ملاقاتها لخشونة المعدن لتجتاز رؤس هذه الخشونات وهذا اللين ضرورى لابد منه حتى تكون مقاومة مرونة الالياف مناسبة للضغط فيكون حينئذ الاحتكاك فى السرعة الغير البينية مناسبا ايضا للضغط كما دلت على ذلك التجربة فاذا تحركت النقالة بسرعة ما فحيث ان تجويفات سطح المعدن متسعة بالنسبة لسمك الياف الخشب فان هذه الالياف بعد مرورها على خشونات السطوح المعدنية يرتفع جزء منها على صورة جملة من اليايات فيلزم اذن انثناؤها انثناء جديدا حتى تجتاز ما بقى من الخشونات ويكثر انثناؤها كلما عظمت السرعة فاذن يزداد الاحتكاك بموجب قانون السرعة ولكن مع ذلك كلما اخذت السرعة فى الازدياد يكون انثناء الالياف على شكل زاوية صغيرة لان تلك الالياف عند مرورها من خشونة الى اخرى لاتجد زمنا تستقيم فيه استقامة تامة

ولما كانت سطوح التماس فى احتكاك الاخشاب والمعادن المدهونة بالشحم على بعضها عبارة عن زوايا مستديرة لم يكن للسرعة تأثير فى الاحتكاك عند تزحلق القواعد على عروق الخشب ومثل هذا الاحتكاك يتراأى منه أن الشحم يلصق الياف الخشب ببعضها ويزيل جزأ من مرونتها ولنذكر هنا ملحوظة مهمة لابد منها فى هذا الموضوع فنقول لما ادار كلب بكرة من خشب الانبيا على محور من الحديد ليس به دهن وجد الاحتكاك فى ظرف العشرين دقيقة الاولى يزداد بازدياد السرعة بموجب قوانين كقوانين الاخشاب والحديد المقررة فى تحرك النقالة وذلك لان البكرة فى هذه الصورة جديدة ومع ذلك فبعد استغراق الاحتكاك المتواصل بالنظر الى سرعة الدوران مدة ساعتين ينعدم من الالياف معظم مرونتها ويكاد الاحتكاك أن لا يزداد بازدياد السرعة ومثل ذلك ينشأ بسرعة عند دهن المحور بالشحم فانه بعد أن يستغرق تحرك الدوران دقيقة بالنسبة الى ضغط قدره ٦٠٠ رطل يكون احتكاك البكرة المتخذة من خشب الانبيا الموضوعة على محور

من الحديد مدهون بالشحم واحدا دائما ويكون لها درجة ما من السرعة
واذا قابلنا بين مقاومة احتكاك جسم له ثقل مفروض يسير الى جهة الامام
وهو مستند على جسم آخر خال عن الدوران وبين المقاومة الحادثة من الجسم
الاول الذي يدور على الثاني وجدنا هذه المقاومة الاخيرة دون الاولى بكثير *
مثلا اذا دحرجنا الخشب على الخشب كانت نسبة المقاومة الى الضغط بالنظر
الى ملف صغير كنسبة ١٠٠ الى ١٦ او ١٨ وبالنظر الى ملف
كبير كنسبة ١٠٠ الى ٦ فاذا حصل التزحلق بدون أن ندحرج
الخشب على الخشب تغيرت النسبة وصارت من ١٠٠٠ الى ٢٠٠
او من ١٠٠٠ الى ٣٠٠ على حسب جنس الخشب فعلى ذلك اذا
دحرجنا جسما مستديرا على جسم مستو بدلا عن سحبه بدون دوران زاد
مقدار النسبة فى ذلك من ١٢ الى ٢٠
و بما ذكرناه يكون استعمال النقل فى اشغال الصناعة هو الاولى والاحسن
فاذا فرضنا أن عربة ثقلها ١٠٠٠ كيلوغرام يحملها عجلتان فان كانتا
مثبتتين فى المحور واحتكتا على ارض ذات اخاديد من الخشب ولم يكن فيهما
قضبان معدنية فان مقاومة الاحتكاك تبلغ ٢٠٠ كيلوغرام واذا كانت
العجلة لا تدور الا بالصعوبة فان مقدار هذه المقاومة يتغير فورا ولا يبلغ الا ٦
كيلوغرامات فما دونها فاذا فرضنا حينئذ أن المحور له قطر يساوى واحدا
من خمسين من قطر العجلة فان تلك العجلة متى دارت دورا كاملا كانت كل نقطة
من نقط بيت المحور المماس له تقطع سطحا اقصر من محيط العجلة خمسين مرة فعلى
ذلك تكون سرعة هذا البيت عند احتكاكه على سطح ذلك المحور مساوية
لواحد من خمسين من سرعة العجلة بالنسبة الى النقطة المماسة للأرض وحيث
لم يكن ثم مانع فاحتكاك العجلة على المحور يساوى واحدا من خمسين من
احتكاكها لو استعملنا بذل العربة نقالة وزحلقناها على الحديد ومن هنا يعلم
ما ينقصه النقل من مقاومة الاحتكاك لاسيما اذا تعشق بيت المحور جلب من
النحاس لاجل تلطيف احتكاكها على حديد المحور فلم يبق علينا حينئذ فى الظفر

بالمقاومات الظاهرة الا مقاومة خشونة الارض والتصاقها بمحيط العجلة وهذه المقاومة تنقص نقصا بينا باستعمال سكك الحديد

فاذا كان المطلوب نقل احمال ثقيلة لتوضع على العربات فان العتالين يزحلقونها على ملفات او اكر (شكل ٨)

وقد شاهدنا في بلاد ايقوسيا انهم يرفعون السفن من البحر على مستو مائل فيضعونها على نوع من العربات له عجلات صغيرة تجري على سكة من الحديد وبهذه الطريقة لا يحتاج في رفع السفن الثقيلة من البحر الى كثير من الناس بل يكفي القليل منهم وقد سبق لك ذكر الكيفيات التي وصلت بها الصناعة الى تنقيص مقاومات الاحتكاك وهناك احوال بعكس هذه الكيفيات تزداد بها تلك المقاومات بقدر الامكان * مثلا اذا انتقلت العربات من سكة افقية الى سكة منحدرة جدا لزم منعها عن أن تأخذ في سرعة معجلة تكون عاقبتها خطرة وذلك يحصل باحد امرين اما أن تمنع العجلات عن الدوران واما أن تخلى على احتكاكها على الارض الا أن مقاومة الاحتكاك الحاصلة للعجلات في هذه الصورة تبري قضبانها في اسرع وقت وتجعلها غير صالحة للاستعمال ويمكن تدارك هذا الضرر بواسطة زمام معدني كزمام ص (شكل ٩) يتعشق بمحيط العجلة ويتوسط بينها وبين الارض ويكون ممسكا بسلسلة مثبتة في مقدم العربة وهذه الطريقة لا تخلو عن الضرر ايضا وذلك انه اذا لم تكن الارض مستوية استواء تاما بأن كان فيها شقوق او احجار عظيمة المسافة فلا مانع من أن العجلة تنفلت من الزمام فيؤدي ذلك الى اشد الخطر

والاولى في منع الضرر ان نستعمل قوس دائرة من خشب اومعدن بأن نضعه خلف احدى العجلات الكبيرة (شكل ١٠) على وجه بحيث يمكن تقريبه من هذه العجلة بواسطة بريمة الضغط فاذا ازداد هذا الضغط نشأ عنه مقاومة احتكاك تناسبه ثم ينعدم تحرك العجلة بعد مدة يسيرة وهذه الكيفية التي لا مانع من تحسينها وتلطيفها وتقويتها وزيادتها عند الاقتضاء ترجح على غيرها في عدة امور وهي الآن مستعملة في عربات النقل وغيرها من سائر انواع العربات

ومن المهم فى الآلات الكبيرة لاسيما طواحين الهواء منعها عن سرعة السير او تلطيف ذلك بقدر ما يراد ان لم يمكن المنع المذكور وذلك لا يحصل الا بواسطة زمام كزمام ا ب ث (شكل ١١) والمراد بالزمام هنا قوس دائرة كبير من خشب محاط من خارجه بقضيب من حديد وأحد طرفيه ثابت والآخر ملصوق بذراع رافعة صغير فاذا وقع على الذراع الكبير من هذه الرافعة تأثير قوة فان هذا الزمام يجبر على القرب من العجلة الكبيرة وبذلك تشترك مع الآلة فى التحرك وتضغط هذه العجلة ضغطا كبيرا جدا فتكون مقاومة هذا الضغط كافية فى تحصيل التأثير المطلوب واذا تأملت تجاريب كلمب فى سائر احوالها عرفت فى اى ضغط فرضته مقاومات احتكاك الازمة التى يراد استعمالها

ومن الآلات التى يرجح فيها الزمام على غيره الجرو اى العيار اذ بدون ذلك لا يمكن للشغالة الظفر بتلك الآلة على الحمل المطلوب رفعه الا يبذل مجهودات تكفى فى ذلك والا تحركت تحركا تقهقريا بسرعة بحيث يترتب على ذلك عوارض عظيمة واخطار جسيمة ويرجح استعمال الزمام ايضا فى الطارات الكبيرة المستديرة كما سبق بيانه فى طواحين الهواء لان التأثير الحادث عنه يمنع من وقوع الضرر بالكلية

ويوجد بمدينة لندرة مخازن يقال لها مخازن الدولة بها منجنونات فيها مثل هذا الزمام وهى معدة لادخال البضائع فى تلك المخازن واخراجها منها فاذا اريد تنزيل هذه البضائع من المنجنونات افلتت منه ويلا تهادفعة واحدة فيهبط الحمل بالسرعة الناشئة له عن تثاقله ويكون احد مهرة الشغالين قابضا بيده على الذراع الكبير من الرافعة الواقع تأثيرها على الزمام المذكور وينتظر الحمل الهابط حتى يبقى بينه وبين الارض او العربة التى يلزم وضعه عليها اقل من متر فعند ذلك يتكئ على الرافعة دفعة واحدة فيقف الحمل حينئذ وقوفا وقتيا

(الدرس الرابع عشر)

(فى بيان الضغط والشد والمرونة على العموم)

قد اختبرنا فيما سبق تأثير القوى في الاجسام من حيث انكماشها ومدها مع فرض ثبوت ابعادها وهو فرض عن الحقيقة بمعزل فان اغلب الاجسام التي يقع عليها تأثير القوى لاجل انكماشها ينقص بعدها في الجهة التي يحصل فيها الانكماش

والمقصود لنا هنا بيان ما بين الاجسام المتنوعة من المباينات الكلية فنقول هنالك بعض اجسام يظهر أنها تتأثر بأدنى ضغط بدون مقاومة وتبقى بعد الانضغاط على الابعاد التي تحدث لها من الضغط وهذه هي الاجسام الرخوة وهنالك اجسام اخرى تتأثر ايضا بالضغط مع السهولة الا أنها بمجرد انقطاع تأثير القوة الضاغطة تأخذ الابعاد التي تناقصت بتأثير هذه القوة في الازدياد حتى تقرب من الابعاد الاصلية كثيرا اوقليلا وهذه الاجسام التي ثبتت لها هذه الخاصية هي الاجسام المرنة

ولا تكون الاجسام تامة المرونة الا اذا عادت الى ابعادها الأصلية بالسرعة التي انعدمت منها حين الضغط ولكن ليس هنالك من الاجسام التي على اصل الطبيعة ماهو بهذه المثابة

واذا ضغط الجسم اول مرة خلي ونفسه بأن نبطل تأثير القوة الضاغطة ليعود الى ابعاده الاصلية بقدر الامكان فان عادت هذه القوة الى التأثير ضغط الجسم ثانيا ضغطا اشد في العادة من ضغط المرة الاولى واذا بطل تأثير القوة الضاغطة عاد في العادة الى ابعاده الاصلية لكن لا كالمرة الاولى بل دون ذلك فعلى هذا تتناقص مرونة الاجسام شيأ فشيأ بتكرر تأثير القوى الضاغطة ومع ذلك فكثير من الاجسام لا ينعدم من مرونته في كل مرة الاجزء غير محسوس ومثل هذه الاجسام يقبل الاستعمال زمنا طويلا مع مايقع عليه من كثرة تأثير القوى الضاغطة الذي يوجد تارة وينعدم اخرى

ويكثر في الصناعة استعمال الاجسام المرنة القابلة للانضغاط لاجل توزيع الضغوط المشتركة توزيعا بالسوية بواسطة القوة التي لا تؤثر الا على اتجاه مستقيم واحد فاذا كان المطلوب مثلا أن ننقل على فرخ من الورق اوعلى قطعة

من القماش نقشا موجودا على لوح معدنى فاننا نضع على الفرخ او القماش جسما مرنا قابلا للانضغاط ونضع فرخا آخر على اللوح المعدنى ثم نضع فوق الجميع جسما صلبا مستويا يقع عليه تأثير القوة فى نقطة واحدة او اكثر وبنقل هذه القوة على الجسم الصلب المذكور تضغط الاجزاء البارزة من الجسمين المرنين على التوالى وبمجرد ضغطها للاجزاء البارزة تتلاقى مع مابقى من الاجزاء وتضغط معظمها بحيث يقع على جميع نقط السطح الذى تلاقى مع اللوح المعدنى من جهة ومع فرخ الورق او قطعة القماش من جهة اخرى جزء من القوة الضاغطة يكفى فى دخول القماش او الورق اللذين هما جسمان قابلان للانضغاط فى تجويفات اللوح فيحدث من ذلك نقل النقش وطبعه

ويستعمل فى كثير من الفنون ماهو من قبيل تلك الاجسام المرنة او الرخوة التى تستعمل فى توزيع الضغوط توزيعا منتظما والا وقعت كلها على نقطة واحدة فتفتت الجسم المطلوب ضغطه او تغير صورته

فاذا كان المطلوب صقل اجسام معدنية او خرطها او كان سطح تلك الاجسام يلزم الاعتناء به بالكلية فاننا نضع بين هذا السطح وفكى الكماشة جسما رخوا كالخشب والرصاص والنحاس وما اشبه ذلك فيتوزع به الضغط على عدة من نقط سطح الجسم المطلوب صناعته وبهذه الكيفية لا يلحقه ادنى تلف

وفى حزم البضائع ونحوها مما يخشى على سطحه التلف يلزم تحويطها باجسام مرنة ولا ضرر بعد ذلك فى ضم هذه البضائع الى بعضها بالحبال لان ضغط تلك الحبال حينئذ يكون موزعا على الاجسام القابلة للانضغاط المحيطة بها فيكون مايصل من الضغط الى النقط المختلفة من الاجسام المحزومة على غاية من الخفة وسيأتى فى الدرس المعقود لاصطدام الاجسام اختبار مثل هذه التأثيرات فى الاجسام المرنة المعدة لتحويل الحركات السريعة او تلطيفها

واذا فرض أن قوتين يؤثران فى جهتين متضادتين لاجل ابعاد اجزاء جسم عن بعضها فانهما يمدان ويزيدان كثيرا او قليلا بعد هذا الجسم فى جهة المستقيم الذى يصل بين نقطتى وقوع القوتين المتجهتين الى جهتين متقابلتين

وهناك

وهنالك اجسام يقع عليها تاثير القوى التى يحصل بها الامتداد بدون احتياج الى عظيم جهد فاذا امتدت اول مرة لا تعود الى ابعادها الاصلية وهى الاجسام الرخوة وثم اجسام اخرى تعود الى ابعادها شيأ فشيأ حتى تصل الى حالتها الاصلية عند انقطاع تأثير القوى التى يحصل بها الامتداد وهى الاجسام المرنة وهنالك اجسام اخرى ايضا تثبت لها هذه الخاصية وهى عودها الى ابعادها الاصلية سواء كانت منكمشة او ممدودة وبالجملة فالاجسام منها ما يعود الى ابعاده الاصلية عودا تاما اذا انكمش ولم يمتد ومنها ما يعود اليها اذا امتد ولم ينكمش

ومن المهم جدا فى سائر فروع الصناعة بالنسبة الى المواد الاولية التى لم تدخلها الصناعة والمواد التى دخلتها الصناعة وكذلك مادة خواص المرونة أن ينتخب دائما لكل صنعة ما يلائمها من المواد ولا مانع من نظم ذلك فى سلك التجاريب المضبوطة التى لم تعمل الى هنا الا فى عدد قليل من الاجسام والاحوال التى لا يعتنى بشأنها كثيرا

وليس فى الاوتار المتخذة من التيل والحرير والقطن ونحو ذلك ولا فى السلوك المعدنية قابلية لمقاومة الضغط وذلك ناشئ عن صغر قطرها بالنسبة لطولها وانما فيها قابلية لمقاومة الشد كل منها على حسب درجته فى القوة والمرونة وما فيها من المرونة يجعلها مستحسنة فى اشغال الصناعة

مثلا اذا كان المطلوب تحويل تحرك دوران من قرص الى آخر او من طنبور الى آخر فاننا نفوت من فوق حلق القرصين او على محيط الطنبورين حبلا او سيرا يكون له فى الشد درجة معلومة ونوزع الشد توزيعا منتظما على جميع نقط ذلك الحبل او السير فيقع تأثير الشد على كل من هذه النقط حتى يعود الحبل او السير الى بعده الاصلى ولا يتأتى ذلك الا اذا ضغط محيط القرص او الطنبور بالحبل او السير فاذا تحرك بعد ذلك احد القرصين او الطنبورين جذبت مقاومة الاحتكاك الحبل او السير على محيط القرص الاول او الطنبور الاول ويحدث من الضغط الواقع من الحبل او السير على القرص الثانى او الطنبور الثانى

احتكاك يحول التحرك الى هذا القرص الثانى او الطنبور الثانى وبالاستعمال تتناقص المرونة المضادة للشدود تناقصا تدريجيا فلذا كانت الحبال والسيور المستعملة وان كانت مقاومة دائما بواسطة مرونتها الاتقاوم الاشيأ فشيأ ولا تمتد الا بالتدريج ومثل ذلك يحمل الانسان على البحث عن الطرق التى بسلوكها يجتنب هذا المد (راجع الدرس الثالث من الجزء الاول)

فاذا كانت الاوتار ممدودة ومشدودة بالكلية وضرب على ما كان متطرفا من نقطها ثم خليت ونفسها فانها تتحرك تحركا مترددا كثيرا او قليلا يعرف بتحرك الاهتزاز فتثير عند ذلك التحرك ما يكتنفها من الهواء فيحدث الصوت واذا ازداد بالتدريج شد الوتر علت بالضرورة الاصوات الحادثة منه عند اهتزازه وانتقلت بالتدريج من الرخو الى الحاد ويكون فى هذه الاصوات المتكونة بهذه المثابة ما يطرب الاسماع ويصلح لان يعد من ألحان الموسيقى وقد تعينت بالتجربة النسب الحاصلة بين شدود الوتر اعنى الاثقال المستعملة فى تحصيل الشد الذى تحدث عنه الحان الموسيقى فعلى ذلك يكون تعيين الالحان فى الموسيقى نتيجة تجربة ميكانيكية

فاذا كان المستعمل وترا واحدا وفرضنا له طولا فان الاصوات فى هذه الحالة تكون رخوة بقدر كبر قطر الوتر وقد تعينت النسب الحاصلة بين ارتفاع الاصوات وقطر الاوتار المختلفة وصارت معلومة والآلات ذات الاوتار عبارة عن عدة اوتار معدنية او متخذة من جلود الحيوانات متحدة الابعاد والاطوال بحيث ينشأ عنها بين حدود معلومة تقاسيم ألحان الموسيقى وهى الاهوية والمقامات وقد اقتصرنا فى تعيين استعمالاتها على ما سنذكره فنقول اذا نقص طول الوتر الباقى على شده الثابت فان الاصوات التى تحدث عنه تكون حادة مرتفعة بخلاف صورة العكس وهى ما اذا زاد طوله فانها تكون رخوة

ودواسات الآلات ذات الاوتار هى عبارة عن روافع الغرض منها ضغط نقطة ثابتة فى بعض الاجزاء المتوسطة من الاوتار لاجل تنقيص طولها فعلى هذا

يحدث

يحدث بالتوالى فى وتر واحد اصوات مرتفعة قليلا او كثيرا وبذلك تزداد الآلات حسنا وجودة

ولما انهينا الكلام على مرونة الخيوط منفردة ناسب أن نشرع فى الكلام على مرونتها مجتمعة فنقول ان الخيوط المستعملة فى صناعة الاقمشة تكون مرنة كثيرا اوقليلا وبهذه المرونة تسهل صناعتها فعلى ذلك اذالم تكن خيوط النسيج ممدودة بالسوية فى وقت واحد ولم يمكن تغيير بعدها بدون انقطاع فان عدم تساويها الناشئ عن الابعاد اوعن الحركات التى تقتضيها صناعة نسيج الاقمشة يوجب انقطاعها ولوكان عدم تساويها المذكور خفيفا وهنالك خيوط على العكس من الخيوط المذكورة حيث انها عند وقوع تأثير القوى عليها تمتد دفعة واحدة وتعود الى ابعادها الاصلية ولايعرض لها انقطاع الا اذا طرأت عليها عوارض على خلاف العادة

ثم ان الاقمشة المعدة للباس اذالم تكن منسوجة من خيوط مرنة لايتكون منها الاسطوح منفردة بفرضها غيرقابلة للمد أوسطوح لاتعود الى صورتها الاولى اصلا بفرضها رخوة بالكلية ولكن يمكن بواسطة المرونة أن يكون لبعض اجزاء تلك الاقمشة انحناآن يكونان تارة فى جهة واحدة وتارة فى جهتين متقابلتين وربما كانا تابعين للين اعصاب الجسم البشرى فى سائر التحركات المختلفة الحادثة من الاعضاء ولما كان كل من حجم هذه الاعضاء وانحنائها يتغير سريعا لاسيما فى المفاصل لزم أن تكون الاقمشة غيرمتعاصية على هذه التحركات وأن تعود فيما بعد الى صورتها الاصلية وذلك انما يحصل بواسطة مرونتها

وهنالك بعض ملابس تحتاج فى استنادها وضمها الى بعضها الى قوة معلومة لاتتجاوز حدها فاذا كان المستعمل لاجل حصول مثل هذه الانضغاطات نسيجا غيرقابل للمد تألم منه اللابس عند تحرك جسمه الذى تكاد تزيد به ابعاد هذا اللباس المحيط به فلهذا كانت احزمة النساء الافرنجية والقفازات والجوارب وسائر اجزاء الملابس المباشرة لجلد الانسان مصنوعة من مواد مرنة ويمكن أن يدرك بالتألم الحاصل للارجل من النعال التى ليست مرونتها كافية ما ينشأ

عن هذه الخاصية من المنفعة للنوع الانسانى

وعوضا عن أن نستعمل خيوطا مستقيمة متوازية فى تكوين السطوح المرنة التى ليس لها الا خاصية قبول كل خيط منها للمد نصنع نسيجا تكون فيه الخيوط على اتجاه منعطف ويكون لها طول اعظم من البعد المستقيم الذى بين اطرافها فان النسيج الذى بهذه المثابة يقبل المد اكثر من النسيج الاعتيادى مع أن القوة فيهما واحدة فاذا انقطع تأثير هذه القوة انضم النسيج الى بعضه بحيث تقطع نقطه المتطرفة مسافة عظيمة وعلى هذا المنوال يصنع النسيج المجدول الذى يصير بواسطة الامتداد والانضغاط صالحا صلاحية تامة لستر الاعضاء الانسانية التى تتغير صورها وابعادها عند التحرك وهنالك تأثير يضاهى تأثير الجدل وهو الحادث من لف السلوك المعدنية لفا حلزونيا لان هذه الحلزونيات ينشأ عنها انفراد عظيم جدا بين اطرافها بخلاف البعد المستقيم لهذه الاطراف فانه لا ينفرد فيلزم اذن أن القوة الواحدة سواء كانت معدة للضغط او المد يحدث عنها مدا وقبض اكبر مما لو كانت مؤثرة فى خيط ممدود ومن هنا استعمال السلوك المعدنية المنثنية انثناء حلزونيا والاشنطة الافرنجية المرنة ويايات العربات وما اشبه ذلك فى كثير من الآلات

ولما كانت الحبال عبارة عن خيوط منثنية انثناء حلزونيا كان لها بذلك درجة فى المرونة تباين درجة مرونة الخيوط الممدودة مدا مستقيما وهذه المرونة تستحسن فى الالات لاسيما فى ادوات السفن ومواردها

وفى كنائس القرى والارياف اسطوانات طويلة من صفيح مدهون بلون البياض على صورة شموع كبيرة فتوضع فيها شموع اعتيادية ويوضع تحت تلك الشموع حلزون طويل من سلك من الحديد او النحاس الاصفر فينضغط هذا الحلزون انضغاطا كليا اذا كانت الشمعة بحالها لم ينقص منها شئ فاذا احرق منها جزء دفعها الحلزون ورفعها الى اعلى بحيث تكون فتيلتها دائما فى نقطة واحدة على القاعدة العليا من الاسطوانة الطويلة التى هى على صورة الشمعة الكبيرة

وما

وما اسلفناه من الكلام الى هنا انما هو فى البحث عن تعيين المقاومة التى تكون للاخشاب قبل كسرها بالتأثير الواقع على أليافها عموديا او بضغط الاثقال المؤثرة فى جهة هذه الالياف .

ولاشك أنه يلزم الآن معرفة النهاية الكبرى لقوة الاخشاب حتى يتأتى أن نستعمل على الدوام فى العمارات والآلات المركبة منها مواد تكون قوتها اعظم من المجهودات التى تقاومها لكن يلزم دائما أن نجتنب فى الاستعمال النهاية المذكورة ما امكن وكذلك فى صورة عمل الاشغال التى يراد طول مكثها بل يلزم اجتنابها اكثر من السابقة لان قوة الاخشاب تتناقص دائما بتداول الزمن عليها لاسيما وهناك عوارض كثيرة تطرأ على الاخشاب فتتلفها وتغير اوصافها الاصلية .

وثم امر آخر ليس دون المتقدم فى النفع بل ربما كان نفعه أعظم وان كان على ما يظهر دون الاول فى العمل به وهو البحث عن تعيين ما للاخشاب من المقاومات المتشابهة فى صورة ما اذا وقع عليها تأثير قوى من شأنها انها تغير صورتها قليلا وتؤثر فى مقاوماتها المنبهة .

وفى بناء العمارات وعمل الآلات والسفن ببلاد الفرنج يفرض أن القطع الجسيمة القليلة الحمل تبقى على الصورة التى رسمت عليها رسما مضبوطا وهذا فاسد لان القوى الصغيرة لها بعض تأثيرات طبيعية وان كانت لا تدركها حواسنا لصغرها جدا ولكنها مع ذلك تنضم الى بعضها فيحدث عنها نتائج ظاهرة جسيمة ولنذكر لك شاهدا على ذلك فنقول .

لاشك أن اعظم عمارة يمكن عملها من الاخشاب هى السفينة والا لم تنظم فى سلك الدونما الفرنجية فاذا اريد انشاء سفينة من الدرجة الاولى فى ترسانة فلا بد أن تكون فى الارتفاع اعلى من المنازل الفرنجية العالية ولا بد ايضا أن تكون مما يحمل الف نفر مع ما يلزمهم من المؤونة مدة ستة شهور ومن المدافع بقدر ما يلزم للحصن المخوف ويلزم ايضا أن تكون فى الصلابة ملايمة للمتحمله من الاشياء المذكورة وقد اطلقنا هنا اسم الحائطين على جانبيها المتخذين من الخشب لان

سمكهما ان لم يزد على سمك الحيطان الخارجة من المنازل الفرنجية العادية فلا اقل من المساواة لها ولابد أن تكون روابطها ومساندها على اختلاف انواعها محكمة الصناعة وكذلك مافيهما من النحاس والحديد المعدين لحفظ جميع اجزائها وامساكها فهل بعد هذه الوسائل المتينة والوضع المحكم يسع من اطلع عليها أن يشك فى بقاء صورة تلك السفينة على حالتها الاصلية بدون تغيير نعم هو فى الواقع محال لانها بعد انقضاء عملها ونزولها فى البحر ينشأ عن عدم تساوى التأثير الواقع من الاثقال التى باطرافها وعن دفع المياه المصادمة لها أن الاجزاء تنحنى فى جميع طول السفينة ويصير مقعرها على شكل قوس بحيث لو فرضنا وترا طوله ٦٠ مترا كان سهمه فى بعض الاحيان نصف متر فاكثر

ولا ريب أن مثل هذا التغير يعد جسيما اذ به لم تبق السفينة على حالتها الاصلية بل تغيرت تغيرا قويا فى سائر صفاتها هذا وان اردت الوقوف على معرفة السهم الذى يبلغ وتر قوسه مترين عند عروض الانحناء المذكور وجدته اقل من عشرين مليمترا وهو مقدار قليل جدا بالنسبة لطول اقل احواله أنه يساوى اعظم قامة من قامات النوع الانسانى

وقد كنت اول من تصدى لتقدير هذا التغير الغير البين الواقع فى الاخشاب فقدرت اولا مقاومة هذه الاخشاب فى جميع تغيراتها عند ظهور تأثير تلك المقاومة اعنى حين تتغير صورة الجسم قليلا بما يحمله من الاثقال ولاشك انك ترى مع الفائدة أن ما ظهر بالتجاريب الحاصلة فى شأن كسر الاخشاب من القوانين وانواع الاختلال اعنى فى صورة ما اذا تغيرت صورتها عن اصلها تغيرا عظيما ما امكن ليس الا نتيجة لازمة للتغيرات الصغيرة جدا التى تبدو للناظر عند انحناء تلك الاخشاب قليلا

ولنذكر لك هنا على سبيل الاجمال ما ألفناه من المباحث فى شأن لين الاخشاب وقوتها ومرونتها بواسطة التجاريب التى حصلت فى ترسانة قورسير سنة ١٨١١ ميلادية وفى ترسانة تولون سنة ١٨١٣ ثم فى ترسانة دونكرك فى سنتى ١٨١٦ و١٨١٧ فنقول ان ما ألفناه فى تجاريب ترسانة قورسير مذكور فى الجزء

العاشر

العاشر من كتابنا المعروف بجرنال المهندسخانة واما الآلة التى استعملناها
فى تجاريب ترسانة تولون فصورتها مرسومة فى (شكل ٩) وصورة الآلة
التى استعملناها فى تجاريب ترسانة قورسير مرسومة فى (شكل ٢)
فترى فى (شكل ٢) تازجة كبيرة مبنيا عليها مسندان اقفيان فى استواء
واحد مسافة ما بينهما تبلغ مترين وما فيه من صور قطع اخشاب البلوط او السرو
او الزان او الراتنج او الصنوبر مرسوم على شكل متوازيات السطوح
وهذه المتوازيات السطوح تزيد فى الطول على مترين وهى موضوعة بالتدريج
على مسندى ض و ض المذكورين وبها يقاس اقصر بعد بينهما
وهى بارزة قليلا من الجهتين بحيث اذا اخذت كل قطعة منها فى الانحناء لا تقصر
حتى تسقط بين المسندين المذكورين
وقد وضعت على هذه المتوازيات السطوح التى سميتها بالمنشورات قصدا
للاختصار اثقالا بين المسندين على بعد واحد فانحنى كل من هذه المنشورات
نوع انحناء
ومن البديهى أن كل ضلع من اضلاع المنشور مثل ضلع اب ث او
د ه ف ينثنى على بعضه (شكل ٢) بحسب المنحنى المرسوم فى مستو
رأسى والمتماثل بالنسبة لمستوى ه ب الرأسى الممتد من نقطة المنتصف
التى يكون الحمل واقعا فيها امتدادا عموديا على مستوى الانحناء
وهذا المنحنى هو الذى كان يلزم تعيين اجزائه مع اعتبار الواجهة المحدبة من
المنشور المنثنى وملاحظتها دائما
وقد لاحظت فى جميع ما عملته من التجاريب انه متى لم تكن الاثقال كبيرة
بالكلية كانت غ ب التى هى سهام قسى اب ث الحادثة عن القاعدة
المنثنية مناسبة لهذه الاثقال
ولكن اذا كانت السهام صغيرة جدا بالنسبة لوتر ثابت من عدة قسى فان انحناء

تلك القسى يكون مناسبا للسهام المقابلة لها مناسبة مضبوطة وقد استنبطنا من ذلك القضية الآتية التى توصلنا اليها فيما سبق بالعلوم النظرية وهى أن انحناء الاخشاب الناشئ عن اثقال صغيرة جدا يكون مناسبا لهذه الاثقال وذلك يكون بقياس هذا الانحناء بخط غ ب الذى هو سهم قوس أ ب ث اعنى بانخفاض النقطة المتوسطة من القاعدة

فاذن اذا كانت قطعة واحدة من الخشب تحمل بين مسندين اثقالا مختلفة صغيرة فان هذه الاثقال تكون مناسبة لنصف قطر انحناء القاعدة فى النقطة المتوسطة من تلك القاعدة ويكون هذا الانحناء مناسبا ايضا لهذه الاثقال الصغيرة جدا

و بعد تعيين نسبة قوة الانحناء المنبهة والثقل الحادث منه هذا الانحناء ينبغى النظر هل مثل هذا القانون يبقى على حاله فى صورة ما اذا حمل الجسم اثقالا كبيرة جدا اولا وعليه فما يكون مقدار التغير الذى يعرض لهذا القانون

وقد ذكرنا انواع الخشب الاربعة التى يغلب استعمالها فى الفنون مع بيان اسمائها وربما استعمل من البلوط والراتنج ماقطع منذ خمس وعشرين سنة تقريبا كاخشاب السفينة الروسية المسماة ميخاييل فانها تخربت سنة ١٨١ من الميلاد بعد أن استعملت عشرين سنة

ومع ذلك لم تبق هذه الاخشاب على قوتها الاصلية لكن حيث كان المطلوب تعيين القوانين التى تضبط بها قوة الاخشاب ومرونتها بواسطة نسب عامة لاعلاقة لها بالشدة الحقيقية للالياف التى على صورة الخطوط و لابانواع الاشجار واجناسها فان هذه الاخشاب تفى بالمقصود من الاستعمال اكثر من الاخشاب المقطوعة جديدا و بالجملة فالسرو والزان اللذان مضى عليهما بعد القطع سنة واحدة يظهر من مرونتهما أن خواصهما دون خواص الاخشاب التى مضى عليها بعد القطع خمس وعشرون سنة وبهذا يتضح ماذكرناه و ينتظم فى سلك البديهيات

هذا وقد صنع اربعة مناشير اومتوازيات سطوح طول كل منها متران و بعض

شيء ومقدار سمكها ثلاثة سنتمترات ووضع كل منشور منها بالتوالى على مسندين ثم وضع على منتصفه حمل قدره ٤ كيلوغرامات ثم زيد على هذا الحمل حتى بلغ ٨ ثم ١٢ ثم ١٦ وهكذا الى ٢٨ كيلوغراما وقد أثبتنا فى رسالتنا الجداول التى يعلم منها اولا سهام القوس الذى تأخذه القواعد وثانيا الفروق الاولية التى تظهر بين هذه السهام

وبالاطلاع على هذه الجداول يعلم اولا أن ٨ كيلوغرامات يتقوس بها المنشور بقدر تقويسه باربعة كيلوغرامات مرتين فقط ومثل هذا التناسب يحصل بالانضغاطات الصغيرة

وبالاطلاع ايضا على الجداول المتعلقة بسائر اخشاب البلوط والسرو والزان والراتينج يعلم أن الفروق الاولية الحاصلة بين السهام تكون آخذة فى الازدياد دائما

وهذه الفروق وان كانت لاتخلو فى الواقع عن خلل هين الا انه اذا وجد فيها فرق صغير جدا اعقبه بدون واسطة فى الجهة المقابلة خلل يفوق الاول وحيث ان هذا الخلل لا يزيد عن واحد من عشرة من المليمتر فاذا استعملنا اخشابا محكمة الصناعة وعولنا فى ذلك على الطرق الاخرى التى لم نذكرها ترتب على ذلك نتائج تكون فيها الفروق الثانوية ثابتة اومتغيرة قليلا (والمراد بالفروق الثانوية الفروق البسيطة اوالفروق الاولية الحاصلة بين جملة اعداد)

وعلى ذلك فيمكن أن نعتبر الفروق الثانوية الحاصلة بين الابعاد كانها ثابتة اذا كانت الاثقال المحمولة على قطعة واحدة تزداد بفروق اولية ثابتة وهذا القانون السهل مطابق بالكلية للتجربة بحيث اذا صنع من البلوط مثلا قطعة منتظمة على طبق الحدود المعلومة من التجربة فان مايحصل من النتائج لايتفاوت الا بقدر ٤ من عشرة من المليمتر ويكون الانحناء الكلى المتحصل مساويا ٦٠٤ من هذه الاعشار وبذلك يسهل بيان هذا الخلل الهين وهو التفاوت المذكور

وعند انحناء المنشور يكون على شكل قوس اطول من وتره فهو عند انحنائه لابد أن يتزحلق كثيرا اوقليلا على المسندين وهذان المسندان عبارة عن ضلعين

من الخشب على طولهما تتزحلق الالياف الخارجة من المنشور تزحلقا غير متواصل بل يكون باندفاع تلك الالياف ووثوبها وثوبا ظاهرا كثيرا كان اوقليلا ولا ننس اننا كنا مقيمين ببلدة ليس بها شئ مما يخص الفنون حتى الموازين المضبوطة ضبطا كافيا بحيث يتوصل بها فى تحرير الشئ وضبطه الى مافوق واحد من عشرة من الف وسيأتى أن كل فرق من الفروق الصغيرة النظرية والحسابية لايتجاوز الحد المعين لتحرير العمليات وضبطها

ولما اردنا أن نعرف نتيجة معادلات حمل كبير جدا يبلغ قدره ٨٠ كيلوغراما قابلنا النتائج المتحصلة معنا بالنتائج المتحصلة من حمل يبلغ قدره ٤ كيلوغرامات فقط فوجدنا بمناسبة ذلك أن السرو يكون سهم قوسه صغيرا اذا كان الحمل كبيرا ومثله البلوط والراتينج والزان

ومن هنا النتيجة الشهيرة وهى ان هذا الخشب ينحنى اكثر من غيره من انواع الخشب التى تكون مقاومتها المنبهة عند الانحناء صغيرة وان كانت المقاومة المنبهة لاى نوع من انواع الخشب قوية جدا فى صورة ما اذا كان الحمل كبيرا بالكفاية كما أن الفروق الثانوية فيها تكون ايضا كبيرة فى هذه الصورة

ومن المعلوم أن الزان فى غاية من المرونة فلذا كان الخراط يصنع منه قوس مخرطته لانها به تكون منتظمة وكان اعظم المجاذيف والمدارى عند البحارة هو ما يتخذ من خشب الزان لانه يتحمل مايعرض له من المجهودات العظيمة والمصادمات السريعة ومنشأ كون الفروق الثانوية عظيمة فى الزان هو أن مايعرض له من الانحناء عند وضع الاثقال عليه لايمنعه من قبول تأثير المصادمات السريعة ولينه معها ولا يكون به عرضة للكسر

وبعكسه خشب السرو فانه لقلة لينه وكونه عرضة للكسر كانت فروقه الثانوية غير محسوسة تقريبا فهى على الثلث من فروق الزان

وقد عينا التناقلات النوعية التى تكون لانواع الاخشاب الاربعة المذكورة فى التجاريب المتقدمة فكانت فى الترتيب كالمقاومات التى تعرض عند الانحناء وينتج من ذلك قاعدة مهمة فى شأن الاخشاب حاصلها انه اذا كان هنالك

سفينتان متحدتان فى حجم الخشب لا فى نوعه فالمصنوعة من الخشب الثقيل يكون تقوسها او انحناؤها دون تقوس السفينة المصنوعة من الخشب الخفيف لان تقوس السفن يكون على حسب لين اخشابها

فاذن يلزم أن يكون تقوس سفن بحر بلطق والفلمنك اكثر من تقوس سفن البحر المتوسط كما دلت على ذلك التجربة

فعلى ما ذكرناه اذا كان هنالك سفينتان متحدتا الاخشاب ثقلا وقدرا لا نوعا فما كان منهما مصنوعا من الاخشاب الخفيفة يكون تقوسها دون تقوس الاخرى فى الانحناء فتكون اشد صلابة منها

والظاهر أن الشهير دون جرجى جوان وقف على الحقيقة فى هذا المعنى حيث اراد أن يصنع سفنا من الاخشاب الخفيفة كالاخشاب الصمغية لا من اخشاب البلوط

وبالجملة فالتجاريب المتقدمة المتعلقة بمواد المقاومة المنبهة يؤخذ منها طرق حساب النتائج المتشابهة وتحصيلها بدون احتياج الى عمل التجاريب ذات المصاريف التى تحصل فى شأن تكسير قطع الاخشاب وبهذه الطريقة تعرف اوصاف الاخشاب التى تلايم الاشغال المتنوعة فى الفنون على العموم لاسيما فى العمارات البحرية اجود المعرفة وربما كان تعيين ابعاد قطع الاخشاب من كل سفينة لا على حسب رأى المعمار واختياره بل على حسب ما يقتضيه مزاج المصلحة ويتوصل بهذه العملية الواضحة الى نتائج اعم نفعا واكثر فائدة

وبعد أن ذكرنا التجاريب الكثيرة التى حصلت فى شأن قطع الخشب المتحدة الصورة تكلمنا على القطع المختلفة السمك والعرض فتوصلنا الى هذه النتيجة الثابتة وهى

ان المقاومة الحاصلة عند الانحناء تكون مناسبة لمكعب السمك وقد بينا بالقواعد العلمية حقيقة هذه التجربة

فاذا انثنى متوازى سطوح من الاخشاب فان أليافه الداخلة تنقبض وأليافه الخارجة تنبسط ويبقى بينهما ليف متوسط لا يتغير طوله بل يبقى على حاله

مهما كان انحناء متوازى السطوح

ولاجل اثبات تأثير مدّ الالياف وانقباضها اخترع المهندس دوهاميل تجربة بديعة وهي انه نشر من المنتصف نشرا عموديا على اتجاه الالياف ثلاثة ارباع سمك قطعة الخشب ثم ادخل فى حز المنشار خابورا رفيعا جدا من خشب اشد صلابة من خشب البلوط فاذا اسندت قطعة الخشب من طرفيها وكانت لواجهة التى بها حز المنشار فى الجهة العليا وضعت عليها الاثقال ولكن مع كونه نشر ثلاثة ارباعها فالربع الباقى من الالياف يمكنه المقاومة بسبب ما فيه من اللين وقبول الانثناء بحيث تكون القطعة المذكورة باقية على قوتها الاصلية فان كان حز المنشار غير متوغل وغائر كثيرا كانت القوة كبيرة والا فصغيرة ومتى تعين بالتجربة الوضع المضبوط لليف الثابت الذى لا يتغير سهل بذلك استنتاج نسبة القوى اللازمة لتحصيل المدّ والقبض المفروضين فى ألياف قطعة واحدة من الخشب واغلب ما وقع فى طولون ودونكرك من التجاريب انما كان الغرض منه البحث عن هذا النوع وعما قليل نشهر ذلك وننشره

وبعد أن حصلت التجربة فى تحميل قطع الاخشاب باثقال مجتمعة حصلت ايضا فى تحميلها اثقالا موزعة على طولها توزيعا منتظما فوجد أن الاثقال سواء كانت مجتمعة فى منتصف قطعة الخشب اومتوزعة على طولها توزعا منتظما تكون فيها نسبة الاسهم اى الانخفاضات الى بعضها كنسبة تسعة عشر الى ثلاثين اوخمسة الى ثمانية وهذه النسبة تكون واحدة فى الاخشاب المتنوعة الصنف اوالمختلفة الابعاد

فاذن اذا جعلنا ثقل قطعة منشورية من خشب وحدة فبتضعيف خمسة اثمان السهم الذى يكون لها عند اسنادها من طرفيها اسنادا افقيا يتحصل السهم الذى يكون لها عند تحميلها ثقلا مساويا لثقلها لكن بشرط اجتماعه فى منتصفها ويؤخذ من هذه القاعدة طريقة سهلة فى وزن الاخشاب الثقيلة الطويلة بدون موازين بشرط أن يكون سمكها ثابتا لا يتغير

وبموجب ماذكرناه لاشئ اسهل من اعتبار ثقل واحد موضوع في منتصف قطعة من خشب كثقل موزع على طولها توزيعا منتظما وعكسه وفوائد ذلك كثيرة في الفنون

وقد عينا انحناء قطع الخشب مع مراعاة ابعاد المساند فكانت النتيجة أن كل قطعتين من الخشب سمكهما واحد ينثنيان كقوسين سهماهما متناسبان لمكعبات ابعاد المساند ولا يخفى أن كل سهم بين المساند يكون كمكعب السمك المقابل له وبانضمام هاتين القاعدتين الى هذه القاعدة وهي أن الانحناآت الصغيرة تكون فيها الاسهم متناسبة بالضبط للاحمال نتوصل الى هذه النتيجة الغريبة وهي أن نفرض قطعتين من الخشب متشابهتين بمعنى أن بعديهما المتناظرين متناسبان ونفرض انهما من جنس واحد فاذا اسندناهما من طرفيهما فان سهمي التقوس الذي يحصل لهما بسبب ثقلهما الاصلي يكونان متناسبين بالضبط لمربعي طولي هاتين القطعتين وبناء على ذلك مهما كان المقدار الحقيقي للقطعتين المذكورتين فانه يكون لهما في المنتصف نصف قطر واحد من الانحناء ولا تختلف هذه النتيجة في صورة مااذا وضع على القطعتين اثقال مجتمعة اومتوزعة الا أن هذه الاثقال تكون متناسبة لنفس ثقل هاتين القطعتين

ومثل هذه النتيجة مستعملة غالبا في عمليات اشغال الفنون لان العمارات والاآلات على اختلاف انواعها متناسبة الاجزاء عادة فاذا كان المطلوب المقابلة بين سفينتين متحدتين في المادة وكانت ابعاد موادهما متناسبة لابعاد هاتين السفينتين فانه يستنتج من ذلك حيث لامانع أن تقوس السفينتين يكون له في صورة انحنائهما الاكبر نصف قطر انحناء ثابت مهما بلغ مقدارهما الحقيقي ثم انه يلزم الآن معرفة مابه يكبر تقوس السفن الكبيرة عن الصغيرة في نسبة معلومة بقطع النظر عن جميع الاسباب فنقول ان سهم القوس يزداد كمربع الابعاد الاصلية للسفينة فعلى ذلك يكون مقتضى ماأسلفناه في شأن السفينة التي طولها ستون مترا وتقوسها نصف متر أن سهم قوس السفينة الصغيرة المشابهة لها التي طولها متر واحد عوضا عن أن يكون جزأ من ستين يكون ثلاثة

آلاف وسدس جزء من مائة من نصف متر وهى نسبة بسيطة تتعلق بالاطوال
ولنشرع الآن فى بيان تكسير الاخشاب فنقول ليست الاخشاب قابلة
الا لانقباض ومد معينين بحيث اذا تجاوزتهما اندقت وتبططت او تكسرت
وليس للقوى التى يحصل بها كسر الاخشاب علاقة مطردة بالقوى التى يحصل
بها الانحناء بل تختلف باختلاف انواع النباتات فقد يحدث عن بعض انواع
النباتات مقاومة قليلة بالنسبة للانحناء وكثيرة بالنسبة للتكسر وذلك كالقنب
فى النباتات الصغيرة وكالزان والدردار والجوز والراتينج ونحو ذلك فى الاشجار
وقد يكون بعض الانواع بعكس ذلك فيحدث منها مقاومة كثيرة بالنسبة للانحناء
وقليلة بالنسبة للتكسر وذلك كالسرو والكابلى ونحوهما وبذلك يتحصل درجة
ثانية من الاخشاب وهنالك انواع اخرى تكون مقاومتها كثيرة بالنسبة الى
الانحناء والتكسر جميعا كصنوبر بجزيرة قرسقة والبلوط الشديد الصلابة
الذى هو اعظم المغروسات بالولايات الفرنجية

وهذه الاختلافات الطبيعية لها اهمية عظيمة فى الفنون اذ بها يتعين ما تستعمل
فيه اقسام النباتات المتنوعة عند توفر الشروط اللازمة فى ذلك فلا يستعمل
فى العمارات الدائمة التى يلزم أن تكون موادها ثابتة لا تتغير وكذلك اجزاء
الآلات المعدة لتحمل مجهودات عظيمة الا اخشاب النباتات الشديدة الصلابة
ويقدم منها خشب البلوط ثم ما كانت مقاومته للانحناء اكثر كاخشاب الدرجة
الثانية الا أن الاولى قصر استعمالها على الاشغال الخفيفة التى الغرض الاصلى
منها الزينة حتى لا تقع عليها مجهودات عظيمة

واما اخشاب الدرجة الاولى فينبغى قصرها على الاشغال التى يشترط فيها المرونة
وذلك كالعربات على اختلاف انواعها وآلات الزراعة وصوارى السفن
ومجاذيف المراكب الخفيفة وما اشبه ذلك

واذا اجريت عمليات التجربة والحساب على القوتين اللتين يكونان لاخشاب
النباتات العظيمة عند مقاومة الانحناء والتكسر عرفت خواص الاخشاب حق
المعرفة فاذن يمكن فى جميع الاحوال أن تختار من الانواع ما يكون اتم ملاءمة

للاستعمال

للاستعمال ولكن ليس هذا الانتخاب سهل الحصول كما قد يتوهم اذا كان المؤيد له اعانات علمية هينة ليست على ما ينبغي

ولنبحث عن قوة الخشب عند مقاومته للتكسير فنقول اذا اخذنا قطعة من الخشب كقطعة اب ث د ف (شكل ١) وثنيناها على اب ث د ه ف (شكل ٢) فان ليف اب ث الخارج يمتد و ينبسط وليف د ه ف الداخل ينقبض و ينكمش واذا رسمنا عدة مستقيمات كمستقيمات ١ا وب٢ وج٣ القائمة على واجهة اث د ف (شكل ١) فهما كان الانحناء الحاصل لقطعة الخشب فان خطوط ١ا وب٢ وج٣ الخ تبقى دائما مستقيمة وقائمة مع محيطي اب ث و د ه ف (شكل ٢) فاذن ألياف الخشب عند انثنائها على بعضها لا يتزحلق بعضها على طول البعض الآخر مثلا بعض ألياف الخشب المنحصر في مسافة ١٢٢١ (شكل ١) ينحصر ايضا في مسافة ١٢٢١ (شكل ٢)

والالياف الخارجة التي تمتد والالياف الداخلة التي تنقبض يفصل بينهما م ن و الذي لا يمتد ولا ينقبض فلذا سمي بالليف الثابت

ومد الالياف خارج ليف م ن و الثابت يكون مناسبا لبعدها عن هذا الليف وكذلك انقباض الالياف داخله يكون مناسبا لبعدها عنه

وقد استنبطنا في النبذة السابقة من هذه القواعد الخواص النظرية المتعلقة بمقاومة الاخشاب عند انحنائها او تكسيرها

وهناك اخشاب متحدة النوع والقوة متى ثنيت على اى منحن كان تكسرت اذا امتدت أليافها الخارجة امتدادا تكون النسبة الحاصلة بينه و بين هذه الالياف ثابتة

ولنفرض أن قطعة من الخشب منثنية على محيط ما يزيد سمكها او ينقص بشرط أن يكون ليفها الخارج متجها على اتجاه المحيط فمتى تكرر سمك القطعة المذكورة مرتين او ثلاثا او اربعا الخ فان مد الليف الخارج يتكرر ايضا مرتين او ثلاثا

اوار بعا فاذن اذا نقص منحنى محيط $\overline{\text{ا ث}}$ بنسبة ازدياد سمك قطعة الخشب المتقدمة فان درجة مد الليف الخارج تكون واحدة دائما

ومتى ثنيت قطعة خشب كقطعة $\overline{\text{ا ب ث}}$ (شكل ٣) مستندة على مسندى $\overline{\text{ا}}$ و $\overline{\text{ث}}$ وواقع عليها تأثير قوة $\overline{\text{ف}}$ التى هى على بعد واحد من نقطتى ا و ث ظهر أن نصف قطر انحناء $\overline{\text{ا ب ث}}$ فى نقطة $\overline{\text{ب}}$ التى هى منتصف هذا المحيط يكون مناسبا المكعب بعد $\overline{\text{ا ث}}$ عن مسندى $\overline{\text{ا}}$ و $\overline{\text{ث}}$

وفى الانحناآت الصغيرة جدا يكون $\overline{\text{ر}}$ الذى هو نصف قطر انحناء $\overline{\text{ا ب ث}}$ مناسبا $\frac{\text{اث}^2}{\text{غ ب}}$ بجعل $\overline{\text{غ ب}}$ عبارة عن سهم $\overline{\text{ا ب ث}}$ فاذن يحدث

$$\text{ر} = \frac{\text{اث}^2}{\text{غ ب}} \quad \text{و} \quad \text{غ ب} = \frac{\text{اث}^2}{\text{ر}}$$

وحيث ان قوة $\overline{\text{ف}}$ مناسبة $\overline{\text{غ ب}}$ فان $\overline{\text{ف}}$ تكون مناسبة $\frac{\text{اث}^2}{\text{ر}}$

ولكن حيث ان القوة اللازمة للانحناء تكون على نسبة مطردة من سهم $\overline{\text{غ ب}}$ ومنعكسة من مكعب $\overline{\text{اث}}$ الذى هو بعد المسندين فاذا جعلنا ه رمزا الى عدد ثابت حدث

$$\text{ف} = \text{ه} \frac{\text{غ ب}}{\text{اث}^3} \quad \text{و} \quad \text{ف} \times \text{اث} = \text{ه} \frac{\text{غ ب}}{\text{اث}^2}$$

واذا فرضنا قطعة خشب اخرى كقطعة $\overline{\text{ا ث}}$ (شكل ٤) سمكها كسمك قطعة $\overline{\text{ا ب ث}}$ (شكل ٣) حدث ايضا

$$\text{ر} = \frac{\text{اث}^2}{\text{غ ب}} \quad \text{و} \quad \text{ف} \times \text{اث} = \text{ه} \frac{\text{غ ب}}{\text{اث}^2}$$

وحيث كان يلزم أن $\overline{ر} = \overline{ر}$ فى حالة التكسير لزم أن يكون

$$\frac{اث^٢}{غ ب} = \frac{اث^٢}{غ ب} \quad \text{فبناء على ذلك يلزم أن يكون} \quad ه \times \frac{غ ب}{اث^٢}$$

$$= ه \times \frac{غ ب}{اث^٢} \quad \text{فاذن يكون} \quad ف \times اث = ف \times اث \quad \text{اعنى}$$

انه اذا ثنيت قطعة من الخشب بين مسندين بعدهما متغير حصل التكسير بواسطة تأثير قوة تزداد بنقصان بعد المسندين وبالعكس

واذا التفتنا الى كل من سمك $\overline{ب ه}$ وبعد $\overline{اث}$ معاوجعلنا $\overline{م}$ رمزا الى عدد ثابت كان مقدار قوة $\overline{ف}$ التى ينشأ عنها الانحناء هو

$$ف = م \times غ ب \times \frac{ب ه^٣}{اث^٣} = م \times \frac{غ ب}{اث^٢} \times \frac{ب ه^٣}{اث}$$

فاذا بلغت الاخشاب المختلفة السمك الحالة التى يحدث فيها التكسير كان نصف قطر $\overline{ر}$ على نسبة مطردة من سمك قطع الخشب فاذن اذا جعلنا $\overline{ع}$ عبارة عن عدد ثابت حدث

$$ر = ع \times ب ه \quad \text{فاذن يكون} \quad ف = \frac{م}{ع} \times \frac{ب ه^٢}{اث}$$

فاذن اذا كان $\overline{اث}$ الذى هو بعد المسندين باقيا على حالة واحدة كانت قوة $\overline{ف}$ التى يحدث عنها التكسير مناسبة لمربع السموك

وهذه الخواص عامة فى متوازيات السطوح المرنة التى تتكسر بمجرد انحنائها انحناء صغيرا جدا والمتوازيات المذكورة اما من الخشب او الحديد او النحاس او الحجارة او نحو ذلك ومن هنا تحدث نتائج مهمة فى الصناعة

وعوضا عن أن نستعمل الشواحى والعوارض والاخشاب المربعة على حسب الاصطلاح القديم نجعلها رقيقة جدا اذا كانت افقية وعريضة جدا اذا كانت رأسية لما فى ذلك من مزيد الفائدة

ولنذكر هنا الفرق بين عارضتين موضوعتين بين مسندين متحدتى الطول وسمك احداهما ١ وعرضها ٩ (شكل ٥) وعرض الاخرى ٣ وسمكها ٣ (شكل ٦) فنقول

ان مقاومة العارضة الاخيرة تكون مناسبة لعرضها وهو ٣ مضروبا فى مربعه وهو ٩ فحينئذ يكون ٣ × ٩ = ٢٧ هو مقدار مقاومة هذه العارضة المربعة عند الكسر ويكون مقدار مقاومة العارضة الرقيقة المساوية للمتقدمة فى الحجم عند الكسر ١ × ٩ × ٩ = ٨١ فعلى ذلك تكون العارضة الرقيقة ثلاثة امثال العارضة المربعة فى الشدّة والصلابة

واذا كان هناك قطع خشب او حديد او نحوها متفرقة سواء كان المطلوب استعمالها فى عمارة أو آلة وكان الغرض منها مقاومة الثنى ثم الكسر فى جهة معينة لزم أن يكون سمكها كبيرا فى تلك الجهة بقدر الامكان مع تقليل عرضها فى الجهة العمودية

وهكذا كانت تخشيبات فليبيرت دلورم المهندس الشهير وهو اول من صنع تلك التخشيبات واستعملها وكيفية ذلك أن تصف الالواح المتقاطعة الاطراف بجوار بعضها بواسطة مسامير ذات بريمة مجوّفة فبانضمام هذه الالواح الى بعضها يتكون منها تخشيبات خفيفة الا انها متينة صلبة تحمل القباب والسقوف وما اشبه ذلك

فاذا اقتضى الحال مقاومة الثنى والكسر فى جهتين عموديتين على بعضهما فلا بدّ من وجود المتانة والوفر معا وذلك باستعمال قطع اخشاب صورة جانبها كصورة الصليب اليونانى (شكل ٧) او كصورة (شكل ٨) التى بطرفيها ثنيات بارزة جدا ويكثر استعمال هذه القواعد فى صناعة الا لات المتخذة من الخشب او المعادن

واذا فرضنا أن المستعمل قطع مستديرة فان مقاومتها عند الكسر حيث انها مناسبة للعروض البسيطة ومربعات السمولك تكون ايضا مناسبة للقطر

مضروبا

مضروبا فى مربعه اعنى فى مكعب قطر الاسطوانات غير المجوفة المستديرة التى يقع عليها تأثير الثنى ثم الكسر

وفى الاسطوانات المجوفة فوائد عظيمة لكونها تقاوم الكسر مقاومة جيدة وذلك لانتظامها وحسن صورتها وكذلك فى المواد الطبيعية ماهو من قبيل هذه الاسطوانات المستعملة فى جميع ماتحتاج اليه تلك المواد من المقاومات العظيمة مع صغر موادها جدا وذلك كريش الطيور فانه على صورة اسطوانات مجوفة بالنظر للجزء الشبيه بذراع رافعة صغير الذى يقاوم الاعصاب القوية المعدة لتحريك الاجنحة واذا قابلت خفة الريش بمتانته وجدت خفته قد بلغت الغاية بحيث يضرب بها المثل

وهذه الخاصية توجد ايضا فى الاشياء الاصطناعية كالاعمدة المجوفة المتخذة من حديد الزهر فان لها زيادة على فائدة مقاومتها فى سائر الجهات بالسوية فائدة اخرى وهى جمعها بين المتانة والخفة اكثر من الاعمدة غير المجوفة

ومن هذا القبيل ايضا مساند اسرة العساكر فانها على غاية من الخفة والمتانة وذلك باتخاذ القوائم والعوارض من النحاس على صورة اسطوانات مجوفة وهنالك كثير من هذا القبيل

* (الدرس الخامس عشر) *

* (فى بيان اصطدام الاجسام) *

قد سبق ذكر المقاومات غير البينة التى تعرض فى كل وقت لتحرك الاجسام المتماسة المحتكة على بعضها ولنذكر الآن نوعا آخر من المقاومة وهو الذى يحصل عند تلاقى جسمين متحركين على حين غفلة كانا مفصولين عن بعضهما بمسافة حيثما اتفق وهو المعروف بالاصطدام او بالالتطام فنقول

ان سائر الاجسام الطبيعية فى حال انفرادها اذا وقع عليها تأثير قوة واحدة او عدة قوى فانها تقبل تأثيرها بكيفية واحدة وتكون سرعتها واحدة اذا كانت القوى المحركة لها متساوية وكان حجمها واحدا

ولكن اذا تلاقى جسمان نشأ عن اصطدامهما حوادث متباينة كل التباين

والاجسام المعروفة بالصلبة هى التى تبقى على صورتها الاصلية عند اصطدامها وكل جسم ثبتت له هذه الخاصية اعنى عدم تغير صورته عند الاصطدام يسمى جامدا وصلبا واما الاجسام الرخوة فهى التى تتغير صورتها بالاصطدام او بمجرد الضغط

فاذا اريد تفريق اجزآء جسم رخو بواسطة ضغط او اصطدام اوقعنا عليه تأثير مقاومة كبيرة او صغيرة بخلاف ما اذا اريد تفريق اجزآء جسم مائع فلا يلزم ايقاع تأثير مقاومة ما عليه

وهنالك اجسام كالهواء الجوى والغازات على اختلاف انواعها تحتاج الى ضغط دائم حتى لا تدفع اجزاؤها المتنوعة بعضها بعضا ولا تتباعد عن بعضها بكمية لا تعرف حدودها الى الآن

ولنبدء بالنوع الاول من الاجسام وهى الصلبة فنقول من الاجسام الجامدة مالا يلحقه ادنى تغير فى صورته ولو وقتيا وهذه هى الاجسام التى يصح أن تسمى بالاجسام التامة الصلابة ومنها ما يلحقه بعض تغير وقتى يزول بعد الاصطدام وهى المعروفة بالاجسام التامة المرونة ومنها ما يتغير جزء من صورته بالاصطدام او الضغط وهى المعروفة بالاجسام الرخوة او غير تامة المرونة

ولاجل زيادة التوضيح نفرض أن جسمين بجسمى $\overline{\text{آ}}$ و $\overline{\text{آ}}$ (شكل ١) يتحركان على مستقيم غ غ المار بنقطتى غ و غ اللتين هما مركزا ثقل هذين الجسمين وأن نقطة تماسهما وهى ث تكون عند الاصطدام على مستقيم غ ث غ

فاذا حصل الاصطدام وكانت القوتان الدافعتان للجسمين مؤثرتين على مستقيم غ ث غ المذكور فان محصلتهما تكون مساوية لمجموعهما او لفاضلهما على حسب اتجاههما الى جهة واحدة او الى جهتين متضادتين

واذا كان مجسم الجسمين واحدا وكانا مدفوعين بسرعتين متساويتين ومتضادتين كانا متوازنين لانه حيث كانت القوتان المحركتان متساويتين فى الجهتين كان فاضلهما صفرا

واما اذا اختلف الجسمان في المجسم او السرعة فانه من حيث ان وحدة القوة تدل عليها المسافة التي تقطعها وحدة المجسم بواسطة هذه القوة في مدة وحدة الزمن يكون العدد الكلي الدال على قوة احد الجسمين المحركة هو عدد آحاد مجسم الجسم مضروبا في عدد آحاد المسافة التي يقطعها الجسم مدة وحدة الزمن

مثلا اذا افرضنا أن وحدة القوة هي الوحدة التي تنقل كيلوغراما واحدا الى مسافة متر واحد مدة ثانية واحدة ظهر لنا فورا أن القوة التي تنقل في مثل هذا الزمن عشرة كيلوغرامات الى مسافة متر واحد او كيلوغراما واحدا الى مسافة عشرة امتار تكون اكبر من المتقدمة بعشر مرات و يظهر لنا ايضا أن القوة التي تنقل في الزمن المذكور عشرة كيلوغرامات الى مسافة عشرة امتار تكون اكبر من القوة المذكورة بمائة مرة وهلم جرا

واذا اقدرنا بهذه المثابة القوة المؤثرة في الاجسام المتحركة تحركا منتظما بواسطة اثقالها مضروبة في المسافة التي تقطع في مدة وحدة الزمن اعني بواسطة اثقالها مضروبة في سرعها تحصل معنا ما يعرف بكمية تحرك الاجسام

فاذا جعلنا م و م رمزين لجسمي غ و غ و ق و ق رمزين للسرعتين الدافعتين لهما تحصل معنا كميتا تحركهما وهما م ق و م ق اعني القوتين الدافعتين لهما ولنجعل خ كناية عن م ق و غ كناية عن م ق

ومتى تحرك الجسمان في جهتين متضادتين كان فاضل القوتين المحركتين وهو م ق − م ق هو القوة المحصلة المحركة لمجسم م + م .

وحيث ان هذه القوة مساوية للمجسم مضروبا في السرعة فالسرعة تساوي القوة مقسومة على المجسم فاذن تكون السرعة التي يتحرك بها الجسمان هي

$$\frac{\text{م ق} - \text{م ق}}{\text{م} + \text{م}} = \frac{\text{خ} - \text{غ}}{\text{م} + \text{م}}$$

وفى الاصطدام الذى اختبرنا تأثيره تكون كمية التحرك الكلية قبل الاصطدام هى
م ق + م ن ولا تكون بعده الا م ق − م ن فاذن تكون كمية
التحرك التى اعدمها الاصطدام مساوية ٢ م ن
فعلى ذلك اذا تصادم جسمان متجهان الى جهتين متقابلتين ولم يكونا مرنين
فان تعينت كمية تحرك كل منهما كانت كمية التحرك التى اعدمها الاصطدام
مساوية لضعف اصغر الكميتين المذكورتين
فاذا اريد حينئذ أن لا تنعدم قوة ما فى تحرك الآلات لزم أن لا يكون هنالك
اصطدام بالكلية بين الاجزاء المتنوعة من هذه الآلات المتحركة فى جهات
متقابلة وهذه قاعدة مطردة ينبغى العمل بها فى صناعة الآلات وتحركها
فان كل وثبة أو تحرك سريع ينشأ عنه ضرران احدهما تنقيص كمية التحرك
دائما وثانيهما تغيير صلابة الآلة ومدتها
واذا تحرك الجسمان فى جهة واحدة فان القوة المحصلة المحركة لجسم م + م
تكون فى مدة الاصطدام م ق + م ن وتكون السرعة التى يتحرك بها
هذان الجسمان هى

$$\frac{\text{م ق} + \text{م ن}}{\text{م} + \text{م}} = \frac{\text{خ} + \text{غ}}{\text{م} + \text{م}}$$

ولنوضح كيفية تقدير توزيع القوى فى اصطدام الاجسام الجامدة بهذه العملية
فنفرض أن لجسم غ مجسما قدره ٣ كيلوغرامات ولجسم غ مجسما
قدره كيلوغرام واحد ونفرض ايضا أن غ يقطع مسافة مترين فى مدة
ثانية واحدة وأن غ لا يقطع فى هذه الثانية الا مسافة متر واحد فتكون كمية
تحرك جسم غ هى م ق = ٣ × ٢ = ٦ وكمية تحرك جسم
غ هى م ن = ١ × ١ = ١
فاذا تقرر هذا وتحرك الجسمان فى جهتين متضادتين حدث م ق − م ن
= ٦ − ١ = ٥ و م + م = ٣ + ١ = ٤

فاذن

فاذن تكون السرعة المشتركة بين الجسمين بعد اصطدامهما ٥/٤ اعني أن كلا من الجسمين يقطع ٥/٤ من المتر في الثانية الواحدة بعد الاصطدام فاذا كان الجسم الصغير له سرعة يقطع بها مسافة ٦ امتار في الثانية الواحدة فانه يتحصل م ن = ١ × ٦ = ٦ فاذن تكون م ق = م ن و م ق − م ن = ٠ وبناء على ذلك يحصل التوازن

فاذا اريد اعدام تحرك جسم دفعة واحدة كان لذلك ثلاثة وجوه الاول أن يدفع عليه جسم مساوله في الجسم ويكون سيره اليه بسرعة كسرعته والثاني أن يدفع عليه جسم اخف منه لكن تكون سرعته اعظم من سرعته والثالث أن يدفع عليه جسم اثقل منه لكن تكون سرعته ابطأ من سرعته

وفي اشغال الفنون دائما شواهد دالة على انواع التوازن المختلفة التي تحصل من تأثير الاصطدام بواسطة خشبة او قضيب او مطرقة او عصى ثقيلة قليلا او كثيرا على حسب حجم الجماد او الحيوان الذي يندفع على النوع الانساني ويمكن باستعمال سرعة عظيمة اضعاف حركة الحيوان او الجماد وتأخيره او سقوطه كما هو الغالب فمن ثم نرى الصبيان الذين يسرعون العدو والجري يسقط باصطدامهم من هو اكبر واثقل منهم ككثير كالرجال اذا كانوا يمشون الهوينا ومن هذا القبيل ايضا العربة الخفيفة التي يكون اندفاعها بسرعة عظيمة فانها عند الاصطدام تقلب العربة التي تكون اثقل منها اذا كان سيرها هينا

ويستنتج من قوانين اصطدام الاجسام نتائج مهمة تتعلق بالفنون الحربية اقتصرنا في بيانها هنا على فن واحد من تلك الفنون حاصله

(انه عند اصطدام جيوش الخيالة في الحرب تكون الكتائب ذات صف او صفين ثم ترحف بسرعة تتزايد بالتدريج حتى تصادم ما يقابلها من الكتائب خيالة كانت او قرابة والغرض هنا معرفة ما يتحصل حينئذ مما يخص هذا الموضوع فنقول

ان الجهة التي تكون فيها كمية تحرك الكتيبة اعني مجموع ثقل الخيول وعددها والخيالة والاسلحة مضروبا في السرعة عظيمة تظهر بالضرورة على غيرها

وتظفر بها وتكون كمية التحرك التي تفضل بها الكتيبة الصادمة على الكتيبة المصدومة مساويا لفاضل كميتي تحركهما مقسوما على مجموع الكتيبتين

ولنفرض أن الكتيبة المهجوم عليها تثبت محلها او تمشي الهوينا حتى تصادمها الكتيبة الهاجمة فحيث ان كمية تحرك الكتيبة المهجوم عليها تساوي الكتيبة مضروبة في سرعة تساوي صفرا فان هذه الكمية تصير معدومة فلا تكون موازنة لكمية تحرك الكتيبة الهاجمة

وقد دلت التجربة على أن الجيوش الخيالة المؤلفة من خيول ورجال شداد ثقال لا يمكنها أن تصبر وتثبت لمصادمة جيوش خيالة اخرى اخف منها لكن اذا كانت سرعتها متوسطة فانها ربما توازنت مع الجيوش الخفيفة او قلبت خيولها ورجالها الخفاف المندفعين عليها بسرعة عظيمة ثم ان الغرض الاصلي من هجوم الخيالة هو تحصيل اعظم درجة من السرعة عند المصادمة ولاجل معرفة الكيفية التي يتوصل بها الى ذلك نقول

ان حصول التحركات في وقت الاصطدام لا يتعلق الا بالكتيبة والسرعة في هذا الوقت فيكفي أن تكون هذه السرعة باقية على حالها عند الاصطدام ولو بلغت قبل ذلك ما بلغت ليكون التأثير واحدا واذا كان المطلوب مثلا تلطيف تحرك جسم ثقيل وقع من ث الى ح (شكل ٢) بسرعة معجلة فلا يلتفت عند وصوله الى ح الى ما كان له من السرعة في خ و خ و خ الخ اذا كانت كمية تحركه واحدة في ح المذكورة اعني اذا كان متحركا على الدوام بسرعته الاصلية ولم يأخذ في مبدء تحركه سرعة هينة تزداد بالتدريج فاذن تكون مصادمة الشامردان للخابور واحدة اذا كانت سرعته واحدة دائما في وقت الاصطدام

فعلى ذلك يوجد في الاصطدام وفر عظيم في القوى اذا كان التحرك في مبدء الامر بطيأ بالتدريج وكانت السرعة تزداد بالتدريج بحيث لا تبلغ نهايتها الكبرى الا في وقت الاصطدام

ولنذكر لك وفر القوى الذي يحدث في مصادمات الخيالة فنقول ان اعظم جزء

من

من المسافة المطلوب قطعها قبل الاصطدام يكون قطعه بالهوينا خطوة خطوة والجزء الثاني يقطع بالهرولة والثالث بالخبب والرابع وهو الاخير بالركض والعدو بحيث لا تنقطع فيه حركة الخيل وتكون كلها في التحرك بجسم واحد فاذن يكون الاصطدام في الحقيقة واحدا كما لو كان للخيول من مبدء الركض السرعة التي اكتسبتها اخيرا لكن لا يمكنها أن تقطع مسافة عظيمة بمثل هذه السرعة لان ذلك يؤدي الى فتور همتها وانعدام قوتها من غير أن تتجدد فيها قوة اخرى

ويظهر أن تطبيق قواعد اصطدام الاجسام على حركات الخيالة في غاية من الوضوح والظاهر ايضا انه يمكن ضبطها على اسهل وجه ومع ذلك فلم تكشف ويوقف على حقيقتها الا بعد مضي عدة قرون

وذلك أن الامة الرومانية مكثت في الحرب ثلثمائة سنة وهي لا تعرف تأثير سرعة الخيول في قوة المصادمات الواقعة من الخيالة بخلاف خيالة النوميديه الخفيفة فانها عملت بهذه القواعد فظفرت بخيالة الرومان الثقيلة في جميع مصادماتها وايضا لما كانت قلة سرعة الخيالة الرومانية تمنعهم عما لا بد لهم منه كان امراء الرومان الشوالية ينتهزون الفرصة و ينزلون على الارض ويقاتلون بجميع كمية التحرك التي تصدر من الابطال وفحول الرجال الذين لا يلحقهم التعب من المشي ولا من الجري

وقد مكثت قواعد اصطدام الاجسام المطبقة على حركات الخيالة وعلى نصرات فريدريق التي حازها بحسن مراعاته لهذه القواعد مجهولة عند المتأخرين الى القرن الاخير من تاريخ ذلك العصر

وتجري هذه القواعد ايضا في حروب القرابة وسائر الجيوش على اختلافها لاسيما في الحروب التي تكون فيها الكتائب عظيمة وليس هذا محل بسط الكلام على هذه القواعد فانها مما يخص المدارس العسكرية دون غيرها)

هذا وقد اعتبرنا فيما سبق الى هنا الاجسام المتصادمة كأنها نقط مادية ولنعتبر الآن امتدادها وصورتها حتى تتضح لنا احوال توازنها وتحركها فنقول

اذا فرضنا أن جسمى م و م (شكل ٣) يتحركان فى جهة واحدة اوجهتين متقابلتين على اتجاه مستقيم غ غ الواصل بين مركزى الثقل ثم فرضنا أن سطحى هذين الجسمين عمودان فى نقطتى ث و ث على مستقيم غ غ المذكور فان القوة التى يتصادم بها جسم م مع جسم م تنعدم بواسطة سطح م وكذلك القوة التى يتصادم بها جسم م مع جسم م فانها تنعدم ايضا بواسطة م هذا اذا كانت كمية تحرك الجسمين واحدة

ولنفرض الآن (شكل ٤) أن سطحى الجسمين مائلان بالنسبة لمستقيم غ غ الا انهما متوازيان فى ث و ث الموضوعتين على مستقيم غ غ الواصل بين مركزى ثقل جسمى م و م

وهذان الجسمان يتماسان عند الاصطدام (شكل ٥) وليكن اث و اث رمزين الى جزءى مستقيم غ غ الدال على كميتى التحرك الدافعتين لجسمى م و م ولنمد ب ث ب عمودا على الاتجاه المشترك بين جسمى م و م فى ث ثم نمد اب و اب عمودين على ب ث ب

فاذا حصل الاصطدام تحرك اولا جسما م و م تحركا مستقيما فى جهة غ غ بسرعة مشتركة مقدارها $\frac{\text{اث} + \text{اث}}{\text{م} + \text{م}}$

وثانيا يدور م و م حول مركزى ثقلهما بسرعة مساوية بالتناظر ث ب - ث ب و ث ب - ث ب ومقسومة على مقدار اينرسى م و م

ويؤخذ من هنا أن الجسمين ينفصلان عن بعضهما بعد الاصطدام فى صورة ما اذا لم يكن سطحهما عمودا على المستقيم الممتد من مركزى ثقلهما

وهناك صورة اصعب من ذلك وهى صورة (شكل ٦) لاتكون فيها نقطة

تماس

تماس الجسمين عند الاصطدام موجودة على المستقيم الواصل بين مركزى ثقل غ وغ

ولما انهينا الكلام على احوال الاصطدام فى صورة ما اذا كان الجسمان متجهين على مستقيم واحد ناسب أن نتكلم عليه فى صورة ما اذا كانا متجهين على خطين بينهما زاوية ما ويتلاقيان فى نقطة ا (شكل ٧) فنقول لتكن ح و خ هما القوتان الدالتان على كميتى التحرك الدافعتين للجسمين فاذا رسمنا متوازى الاضلاع وهو ا ب د ث الذى ضلعاه وهما ا ب و ا ث مناسبان لقوتى ح و خ كان وتره وهو ا د دالا على كمية التحرك الدافعة للجسمين المتلاقيين فى نقطة ا وعلى الاتجاه المشترك الذى يتبعه هذان الجسمان بعد الاصطدام اذا لم يكونا مرنين فاذن اذا جعلنا مَ و م رمزين لجسمى الجسمين فان سرعتهما بعد الاصطدام تعلم من $\frac{اد}{مَ + م}$ و اد هو عبارة عن كمية التحرك

وتكون قوانين توصيل التحرك واحدة اذا كان كل من الجسمين يتحرك على منحن متواصل عوضا عن تحركهما على مستقيم واحد لانهما يقطعان فى الزمن القليل الذى يعقب الاصطدام مسافة تنطبق على مستقيم صغير مماس للمنحنى فى النقطة التى يحصل فيها الاصطدام

فعلى ذلك اذا اخذنا مثلا بندولين بسيطين كبندولى ح و ع (شكل ٨) متحدين فى الطول فمهما كان مجسما هذين البندولين فان قوانين الاصطدام تصير عين القوانين التى توجد فى صورة ما اذا كانا يتصادمان معا فى الوضع الذى يكون فيه كل من خيطيهما رأسيا لان جسمى ح و ع يصلان الى هذا الوضع بكون احدهما يقطع خ ح والآخر يقطع غ ع المماسين فى ح و ع لمستقيم طط

فاذا رفعنا حينئذ الى ارتفاع واحد من خ و غ مجسمى ح و ع

المتساويين فانهما ينزلان فى زمن واحد بسرعة واحدة الى وضعى ح و ع فيتصادمان فيهما لكن حيث ان الجسمين المضروبين فى سرعتيهما متساويان هنا من الجهتين فان التوازن حينئذ يكون حاصلا ولا يتحرك الجسمان بعد الاصطدام

فاذا كان احد الجسمين كبيرا حصل التحرك فى جهته على حسب القانون المعلوم من معادلة

$$\frac{م ق - م ق}{م + م}$$

ولنختبر الآن اصطدام جسم يتحرك تحركا مستقيما مع جسم يتحرك وهو دائر على نفسه فنقول

لنفرض أن جسما كجسم م (شكل ٩) مركز ثقله فى غ يدور حول محور ث الابين بنقطة ث وقد اثبتنا فى الدرس السابع من هذا الجزء انه يوجد على امتداد مستقيم ث غ نقطة كنقطة ث فبهذا يمكن أن نفرض دائما أن مجسم جسم م يكون محصورا بتمامه فى نقطة ث و يكون زيادة على ذلك مدفوعا بسائر كمية التحرك التى تكون للجسم بدون تغير سرعة هذا الجسم المنزوى به ولنفرض ايضا أن جسم م يعارضه عند تحركه مانع مثل م وانه فى نقطة ا التى يعرض فيها هذا المانع للجسم يكون سطح المانع وسطح الجسم عمودين على خط ث ا العمودى على ث ث فينعدم جميع تحرك الجسم بسبب هذا المانع الثابت بالفرض فاذن يبقى الجسم ساكنا بواسطة تأثير الالتطام وعند الاصطدام لا يكون محور ث ثابتا ونعرف نقطة ث المذكورة بمركز الالتطام

فاذا كان المانع الثابت المدلول على مقاومته بحرف ف على وجه بحيث يكون بعد ث د أكبر من ث ث (شكل ١٠) او اصغر منه (شكل ١١) فان محور الدوران تعرض له مقاومة من تأثير الاصطدام

وجسم م الواقع عليه تأثير قوتى ف و ف يكاد ينثنى او ينكسر بين ث و د (شكل ١٠) وكذلك بين ث و ث (شكل ١١) فيحدث بموجب توازن القوى المتوازية

ف × ثث = ف × ثد

وزيادة على ذلك يكون تأثير فَ الحاصل من المحور بواسطة الاصطدام مساويا ف ــ ف (شكل ١٠) و ف ــ ف (شكل ١١)

وحينئذ فكلما كان الاصطدام حاصلا على مستقيم اف ولم يكن على بعد من ث = ثث عرض لمحور ث الثابت مقاومة من الاصطدام فاذا كان ثد (شكل ١٠) اكبر من ثث دفعت مقاومة الاصطدام المحور الثابت الى جهة مضادة لجهة دوران جسم م واذا كان ثد اصغر من ثث دفعت مقاومة الاصطدام المحور الثابت الى جهة دوران جسم م وهذه النتائج تستعمل بدون واسطة فى اشغال الفنون فنستعمل غالبا المطارق والمقامع التى تتحرك تحرك دوران لاجل تحصيل الاصطدامات * ولكيلا يعرض لمحور المطرقة وهو ث (شكل ١٢) مقاومة ما عند الاصطدام يلزم استيفاء جميع الشروط الموجودة فى شكل ٩ فعلى ذلك اذا كان م هو الجسم الموضوع على السندال و ا هى النقطة التى يقع عليها دق المطرقة كان مستقيم اف العمودى فى نقطة ا على سطح المطرقة مارا بنقطة ث التى هى مركز الانتظام وكان مستقيم ثث عمودا على اث

فاذا حرك الصانع المطرقة بيده (شكل ١٣) فان لم تكن جميع الشروط المذكورة مستوفاة عرض لليد مقاومة مؤلمة وتكون تلك اليد مدفوعة الى جهة مضادة لجهتها او مضغوطة فى جهة التحرك الحاصل له على حسب قرب النقطة التى يقع فيها الاصطدام قربا قليلا او كثيرا او بعدها كذلك عن محور دوران المطرقة

ثم ان الاصطدام المستقيم بجسم يستعمل فى تحريك بندول يرتج حول محور ومثل هذا التأثير يقع فى التجاريب الحاصلة فى شأن البندولات الطوبجية فلنفرض كتلة مجسمة من الخشب ككتلة م (شكل ١٤) محاطة بروابط من حديد ومعلقة فى محور ث بقضبان من حديد ايضا

ونطلق رصاصة اوكلة ككلة م فى بندول م ولابد أن نحذفها بحيث تكون على اتجاه المستقيم المار بنقطة ث التى هى مركز الانتظام فاذا وفينا بذلك لم يعرض لها مقاومة ما على محور الدوران وهو ث وتكون سرعة البندول المنزوية مساوية م × ث ث ومقسومة على مقدار اينرسى البندول الذى تدخل فيه الرصاصة

فاذا علمت مقدار اينرسى البندول ومجسمى م و م وبعد ث ث علمت بواسطة عملية سهلة سرعة كل من هذين الجسمين عند الاصطدام وهذه هى الكيفية المستعملة فى قياس سرعة المحذوفات قياسا صحيحا ولهذا القياس اهمية عظيمة فى فنون الطوبجية

وقد تقدم أن القوى تنعدم كلما كان تأثيرها واقعا فى جهات متقابلة فاذا كان المطلوب أن القوى لا تنعدم كما هو الواقع فى أغلب الآلات لزم أن تجتنب فى هذه الآلات حسب الامكان الاصطدامات الناشئة من التحركات فى جهات متضادة

ويلزم لذلك ايضا اجتناب الاحتكاكات التى عوضا عن أن تكون متواصلة وغير ظاهرة تكون حاصلة بواسطة رجات ووثبات ومقاومات ينشأ عنها دائما بعض اصطدامات مضرة وحيث ان هذه الاصطدامات لها دوى وقرقعة ويتحلل بها ما تلاقيه علم من ذلك أن اجود الآلات هو ما يكون تحركه صادرا مع الانتظام واللطف بدون قرقعة ولا اضطراب

ومن اهم الاشياء ما يستعمل من الاحتراسات فى اجتناب مثل هذه الاصطدامات فى الطارات المضرسة

فلنفرض (شكل ١٥) أن ضرس د من طارة و ينقلت فى وقت دفعه لضرس ى من طارة و قبل أن يصل ضرس دَ الى ضرس ىَ من الترس الصغير فلا يجد هذا الترس حينئذ ما يعارضه فاذا وقع عليه تأثير قوة تحرك تحرّكا تقهقريا حتى يتلاقى ىَ مع دَ فاذن يحصل الاصطدام فى جهتين متضادّتين ويعقب ذلك انعدام كمية التحرك ويلزم بمقتضى القاعدة المطردة أن يصل ضرس دَ الى ىَ قبل انفصال ضرسى د و ى عن بعضهما

ولنذكر لك هنا الملحوظات التى لاحظناها فى شأن الاصطدامات الصغيرة الحادثة من تحرك السفن حيث انها تجرى فى سائر انواع الآلات فنقول

انه بموجب ماسبق اذا كانت السفينة مستقرة عرض لجزئها الاسفل انكماش وانقباض ولجزئها الاعلى انبساط وامتداد وحدث عن هذين التغيرين اولا امتداد الياف الخشب اوانكماشها وثانيا تلف قطع الاخشاب المتلاصقة وانفصالها عن بعضها وثالثا انثناء المسامير الممسكة لها اوتكسرها

وكلما تزايدت مقادير القوى المغيرة تزايدت تأثيراتها ايضا غير أنها فيما بعد لا تتناقص بنسبة واحدة عند تناقص هذه المقادير لان التغير المذكور انما يقع فى الاجسام غير تامة المرونة

فعلى ذلك اذا تناقص تقوّس السفينة اعتدلت المسامير واستقامت قليلا وقطع الاخشاب التى انفصلت عن بعضها لا تتصل ثانيا الا من بعض اجزائها وكذلك الالياف الممتدة فانها تنكمش انكماشا كافيا والالياف المنكمشة لا تعود الى طولها الاصلى بالكلية

فاذن لا يوجد عظيم اتحاد بين مواد السفينة ومثل هذا العيب يؤثر فى اخشاب السفن تأثيرا شديدا

وانحلال هذه المواد لا يمنع من أن كل جزء منها يتحرك بدون معارض قليلا اوكثيرا على حسب الاجزاء التى كانت مجتمعة معه فى الاصل قبل الانحلال ويطلق على مجموع هذه التحركات الصغيرة اسم تحرك الاخشاب

واذا فرضنا أن القوى المغيرة مؤثرة فى سفينة جميع اجزآئها متحركة فان اول تأثيرها يكون عبارة عن تحويل مواد تلك السفينة عن اوضاعها بحسب ما تأخذه من الاتجاهات بواسطة تحركها ولا يعارض تحويل تلك المواد الا مقاومة اينرسيها والى هنا لم ينقص شئ من كمية القوى النشاطية الدافعة للسفينة بتمامها

وانما يعرض لكل جزء عند تحوله عن وضعه بدون معارض على الوجه المذكور سرعة فاذا حصل له مقاومة شديدة من بقية الاجزآء حدث عن هذه السرعة اصطدام

فعلى ذلك لا يكفى الضغط الهين فى كون اجزاء السفينة تؤثر على بعضها بحيث تمتد او تنكمش وبالاصطدام تزيد شدة القوة الاضطرابية زيادة بالغة وبذلك تبقى القوى المغيرة على حالها ويزداد تحرك قطع الخشب على الدوام وينشأ دائما عن ذلك تأثيرات تصير بالتدريج خطرة مضرة

ثم ان ما ذكرناه من الاصطدامات هو ناشئ بالضرورة عن السرعة الغير البينة فى صورة التغيرات البطيئة الواقعة فى وسق السفينة وتكون شديدة سريعة فى صورة ما يحدث عن القوى الطبيعية من الاضطراب

ولا يلزم أن نطبق على صناعة السفن ما يمكن تطبيقه على تشييد عمارة فى الارض لا ينضم فيها تأثير القوة المغيرة الى تأثير قوة تثاقل المواد وانما يلزم اعتبار السفينة فى حالة سيرها على البحر المضطرب كثيرا او قليلا اوفى حالة اضطرابها بالرياح القوية كثيرا او قليلا الثابتة كثيرا او قليلا او الدافعة كثيرا او قليلا

فيعلم من ذلك أن مقادير القوى التى يحدث عنها تقوس السفينة تتغير فى كل وقت حتى انها عند المقدم والمؤخر تكون بالتعاقب موجبة وسالبة فيلزم اذن أن نعتبر السفينة المضطربة بالبحر والريح كثعبان لا يزال عند عومه على وجه البحر المتموج ينحنى وينثنى فى المستوى الرأسى من طريقه ويسير الى جهة الامام فيحدث عن سيره بتلك الانثناءة خط منعوج

ثم ان قوانين اصطدام الاجسام الصلبة المجردة عن المرونة هى كقوانين الاجسام الرخوة وما يعرض من التغير للاجزآء المتنوعة من هذه الاجسام لا يغير شيأ

من المتحرك في وقت الاصطدام وليس الامر كذلك في اصطدام الاجسام المرنة فاذا تقابل جسمان على غاية من المرونة وكانا متحدين مجسما وسرعة فعوضا عن كونهما يتوازنان و يلازمان السكون يعدم كل منهما قوة الآخر ويحول اليه جميع ماله من القوة الخاصة به فعلى ذلك يتقهقر كل منهما في طريقه بما كان له من السرعة قبل الاصطدام ولا تتغير كمية تحركه وهذه الخاصية للاجسام المرنة المتحدة في الجسم والسرعة لا تتغير بتغير المجسمات والسرع بحيث يبقى مجموع كميات التحرك على حالة واحدة قبل الاصطدام و بعده

ولنذكر لك هنا بعض تطبيقات على هذه القاعدة فنقول لنفرض أن جسم ا الساكن .(شكل ١٦) يصادمه جسم ب المتحد معه في الجسم وهو م وفي السرعة وهي ق فتكون كمية التحرك صفرا بالنسبة الى جسم ا و م ق بالنسبة الى جسم ب فحينئذ تكون الكمية المذكورة بالنسبة للجسمين هي م ق فاذن يوصل جسم ب الى جسم ا سائر كمية التحرك وهي م ق غير أن جسم ا لا يمكنه أن يوصل الى جسم ب الا كمية تحرك تساوي صفرا اعني معدومة فاذن يعدم جسم ب كمية تحركه بتمامها فيبقى ساكنا واما جسم ا الذي اخذ جميع كمية تحرك جسم ب واتحد معه في الجسم فانه يتحرك بالسرعة التي كان يتحرك بها جسم ب

ولنفرض الآن أن هنالك (شكل ١٧). ثلاثة اجسام مرنة ومتحدة الجسم كاجسام ا و ب و ث وليكن جسم ث هو المتحرك دون غيره فبمصادمة هذا الجسم لجسم ب يوصل اليه جميع كمية تحركه ويبقى ساكنا وكذلك بمصادمة جسم ب لجسم ا يوصل اليه جميع كمية تحركه ويبقى ساكنا فاذن يتحرك جسم ا دون غيره بكمية التحرك التي كان يتحرك بها جسم ث

ويتحصل مثل هذه النتيجة في صورة ما اذا كان هنالك اربعة اجسام او خمسة الخ متساوية وكان الاخير منها هو المتحرك دون غيره فالاجسام المتوسطة تبقى بعد

الاصطدام ساكنة دائما كالجسم الاخير بخلاف الجسم الاول فانه يتحرك ويسير
الى الامام بجمع كمية التحرك التى كان يتحرك بها الجسم الاخير
وتتضح هذه الحقيقة الميكانيكية بواسطة اكر من العاج مثل آ و ب
و ث (شكل ١٨) تعلق بخيوط على صورة بندولات
فاذا ابعدت اولا كرتين احداهما عن يمين الخط الرأسى الممتد من نقطة
التعليق والاخرى عن شماله وخليا ونفسهما للوقوع فى زمن واحد فانهما يصلان
الى الخط الرأسى فى زمن واحد بسرعة واحدة ثم يتقهقران فى طريقهما
بالسرعة المذكورة
فاذا كان العاج تام المرونة ولعب به فى الفراغ فان الاكر تصعد بالضبط الى ارتفاع
مبدء سيرها فاذا وقعت كلها من هذا الارتفاع فى زمن واحد فانها تصادم ايضا
بسرعة واحدة ويحدث من ذلك التحرك الدائمى غير أن العاج ليس من الاجسام
التامة المرونة لانه لا يوجد فى الاجسام الطبيعية ما هو بهذه المثابة فاذن تصعد
الاكر عقب كل اصطدام شيأ فشيأ الى اعلى ثم تنعدم عقب حصول عدة رجات
كميات تحرك تلك الاكر بالكلية
واذا علقت ثانيا ثلاث اكر من العاج وكانت مماسة لبعضها بالطبع ورفعت الكرة
الاولى وهى آ الى ح (شكل ١٨) ثم خليت ونفسها للوقوع فان الكرة
المتوسطة وهى ب تبقى فى هذا الوقت ساكنة وتصعد الكرة الاخيرة وهى
ث الى خ فى ارتفاع نقطة ح ثم تقع ثانيا وتوصل تحركها بواسطة
كرة ب الى كرة آ فتصعد الى ح ثم تهبط كالمرة الاولى وهلم جرا
ويتحصل مثل هذه النتيجة فى صورة ما اذا كان هنالك اربع اكر او خمس اوست
او اى عدد كان من الاكر
ولا نقتصر هنا على ذكر الاصطدام المستقيم فى الاجسام بل نذكر ايضا قوانين
اصطدامها المنحرف مقتصرين فى ذلك على فرض أن احد الجسمين ثابت
ومستو والآخر كروى ورما للاختصار حسب الامكان فنقول
انه فى الوقت الذى يتلاقى فيه فى نقطة ث كرة ص (شكل ١٩)

المدفوعة

المدفوعة بقوة او المنحرفة مع المستوى الثابت تدور هذه الكرة حول
نقطة ث بقوة تساوى او × ث ف الذى هو خط عمودى على
او ف ولنرسم مستطيل اش و ك الذى ضلعاه وهما و ك و اش
موازيان لمستوى م ن وضلعاه الآخران وهما اك و وش
عمودان على هذا المستوى
بحيث ان قوة او تحلل الى وش و وك اذا كانت الكرة
والمستوى جسمين مجردين عن المرونة لم يبق معنا اذن الا وك واما قوة
وش التى هى عبارة عن ضغط الكرة على المستوى الثابت فيعدمها هذا
المستوى
وبواسطة الاحتكاك الحاصل لمستوى م ن من ضغط وش تتحرك الكرة
المدفوعة بقوة ك و والموازية لهذا المستوى وقد تقدم فى الدرس الثالث
عشر بيان الكيفية التى بها يمكن تقدير التأثيرات الحاصلة من هذه القوة
وحيث ان الاحتكاك يمنع الكرة من التزحلق على مستوى م ن فانها
تتدحرج على هذا المستوى كما تتدحرج العجلة على الارض فاذا كان المستوى
بتمامه مصقولا بالسوية كانت مقاومة الاحتكاك واحدة بالنسبة لضغط
وش
فاذا لم يكن للجسم الذى يصادم المستوى محيط مستدير فانه يتدحرج على هذا
المستوى على وجه بحيث يصعد مركز ثقله و يهبط بالتعاقب و يحدث من ذلك
مقاومات غير متساوية ومبهمة كثيرا او قليلا نقتصر على ذكرها هنا فنقول
ان هذه المقاومات غير المتساوية تدل على أنه يلزم فى توصيل المجهودات
المتواصلة مع الانتظام الى طول المستوى الثابت بتمامه أن نستعمل دائما
اجساما محيطاتها مستديرة كالاكر والاسطوانات والمخاريط وسطوح الدوران

على العموم

فاذا كان معاندا لا عن الجسم الصلب جسم رخو يصادم المستوى الثابت كانت المسئلة غامضة يلزم فيها معرفة الصورة التى يأخذها الجسم الرخو بعد الاصطدام غير أن هذه الصورة قل أن استعملت مع الفائدة فى الفنون الميكانيكية

ولا يقع مثل ذلك فى اصطدام الاجسام المرنة فاذا كان جسم تام المرونة كجسم ا يصادم مستوى م ن (شكل ٢٠) فان قوة ا و الدافعة له تنحل الى قوتين اخريين احداهما و ش التى تدفعه عموديا على مستوى م ن والثانية و ك التى تؤثر فيه بالتوازى لهذا المستوى وحيث ان هذه القوة الاخيرة لا يمنعها مانع فانها تستمر على تأثيرها بعد الاصطدام فاذن يتحرك الجسم دائما مع سرعة واحدة بالتوازى لمستوى م ن الثابت وحيث ان قوة و ش مؤثرة عموديا على م ن كان يجرى عليها قوانين الاصطدام المستقيم فى الاجسام المرنة فاذن يلزم أن تحول قوة و ش بتمامها الى المستوى الثابت وتعود الى وضعها الاصلى بواسطة مقاومة هذا الجسم المساوية دائما للتأثير فيصعد حينئذ الجسم المرن المدفوع بقوة مساوية لقوة و ش غير أنها تكون متجهة الى جهة مضادة لجهتها وبناء على ذلك اذا وصل جسم مرن كجسم و بتحرك منتظم مستقيم الى وضع بحيث انه فى زمن معلوم يقرب من و ك موازيا للمستوى الثابت ومن ش و عموديا على هذا المستوى بعد حصول الاصطدام فان هذا الجسم يقرب فى مسافة واحدة من الزمن من و كَ = و ك موازيا للمستوى الثابت ومن و شَ عموديا على هذا المستوى وحينئذ يكون خط و اَ الذى هو عبارة عن اتجاه المسافة المقطوعة ومقدارها هو وتر الشكل

المتوازى

المتوازى الاضلاع القائم الزوايا وهو ش و ك ا المساوى ش و ك ا فاذن تكون زاويتا ا و ش و ا و ش متساويتين

فعلى ذلك اذا صادم جسم تام المرونة مستويا ثابتا مصادمة على حسب زاوية تعرف بزاوية السقوط فانه يكون ملازما لسرعته و ياخذ اتجاها جديدا يبعده عن هذا المستوى ابعادا على حسب زاوية تعرف بزاوية الانعكاس وهى مساوية لزاوية السقوط

وقد سبق أن العاج قريب جدا من الاجسام التامة المرونة فلذا اذا صادمت الكرة المتخذة من العاج مستويا فانها تدوم مع سرعتها الاصلية بحيث تكون زاوية الانعكاس مساوية تقريبا لزاوية السقوط وبالجملة فلعب البليار مبنى على معرفة قانون اصطدام الاجسام المرنة

ولنفرض مثلا أن خانة من خانات البليار كخانة ث (شكل ٢١) موضوعة على وجه بحيث تناسب كرتى ا و ب فاذا لمددنا اولا مستقيم ث ب ه حتى وصل الى خط م ن وثانيا مستقيم ا ه حدث معنا أن زاوية م ه ب = ن ه ا فاذا دفعنا كرة ا الى نقطة ه انعكست على اتجاه ه ب وصادمت ب مصادمة مستقيمة ثم سكنت واما ب فانها تنتقل الى هذه النقطة مع سرعة كسرعة ا بتمامها عند الاصطدام فى اتجاه ب ث الذى يوصل الى الخانة وليست كرة ب فى الغالب على اتجاه ث ب ه القائم الموصل الى الخانة كما فى شكل ٢٢ فيلزم اذن أن كرة ا بعد أن ترمى الى ه وتنعكس بحيث يكون ا ه ن = م ه ا تصل الى وضع ا لتصادم كرة ب ثم تعود الى خانة ث (وهذا الشرط يتحقق اذا كان مستقيم س ص المماس لكرتين فى نقطة تماسيهما موضوعا على وجه بحيث تكون الزاويتان الحادثتان منه مع مستقيمى ب ث و ا ه متساويتين)

ويؤخذ من ذلك أن لعب البليار يستلزم أن يكون النظر مقترنا على تصور الاتجاهات والزوايا وأن تكون اليد أيضا مقترنة على ما يرشدها النظر اليه

وفى القرن السابع عشر استعمل الشهير ووبان طريقة فى اطلاق المدافع لها علاقة بانعكاس الاجسام المرنة وهى انه اذا اطلقنا كلة متوسطة الثقل ككلة آ على اتجاه اب (شكل ٢٣) المرتفع قليلا عن الافق فان تلك الكلة الواصلة الى الارض بواسطة التثاقل تقع فى نقطة آ على حسب زاوية آ كبر قليلا من زاوية ب ا ن وتنعكس حينئذ على حسب زاوية ب ا ن المساوية لزاوية ب ا ن تقريبا ثم تقع مرة اخرى لترتفع ثانيا فاذا وجد حينئذ على خط ان عدة موانع يلزم ازالتها فاننا نطلق عليها الكلل عدة مرات حتى يحصل بذلك الاصطدام والانعكاس او الوثوب وليس حصول الانعكاسات المتوالية او الوثبات مقصورا على صورة ما اذا ضربنا بالكلة على اجسام صلبة كالجدران المبنية بالاحجار او الاخشاب وكالحصون المتينة والسفن او ضربنا بها على ارض مبلطة او برية متسعة او ثلوج كما فعله العساكر الفرنساوية فى واقعة اوسترلتس بل تحصل ايضا فى صورة ما اذا رمينا اجراما مرنة على سائل تضرب سطحه على حسب زاوية سقوط صغيرة

ومثل ذلك يعرفه حق المعرفة الصبيان الذين يرمون على وجه الماء احجارا مسطحة فان هذه الاحجار تثب ويحدث عنها سبع انعكاسات او ثمانية او عشرة على حسب كبر قوة الرامى وصغرها وخفة يده عند الرمى

وفى الضوء الواقع على الاجسام الرخوة شاهد لطيف على ما للاجسام المرنة من الانعكاسات المهمة لان زاوية الانعكاس فى هذا الوقوع مساوية دائما لزاوية السقوط واعظم الآلات الفرنجية ضبطا هو ما تحقق به مرونة تلك الاجسام وقد تقدم فى مبحث الاصطدام أن الاجسام الصلبة والاجسام الرخوة ينعدم جزء من قوتها اذا كانت اتجاهاتها متضادة وذلك متعذر فى الاجسام التامة المرونة ونادر فى الاجسام غير تامة المرونة

وهذه

وهذه المزية المختصة بالاجسام المرنة دون الاجسام الصلبة والرخوة جعلت استعمال تلك الاجسام نافعا جدا في علم الميكانيكا مثلا اذا لاحظنا تحرك العربات التي يعرض لعجلاتها دائما اصطدامات كبيرة او صغيرة من الاجزاء البارزة في ممرها وجدنا أن الانفع في تلك العربات أن تحمل صناديقها او وسقها على يايات لان تأثير هذه اليايات يحفظ جزأ من القوة الافقية كان يعدمه الاصطدام فيستعمل حينئذ هذا الجزء في تحرك العربة المتزايد واما جزء القوة الدافع للعربة من اسفل الى اعلى بواسطة تأثير اليايات التي تنثني على نفسها حين تأخذ القوة الدافعة من اسفل الى اعلى في التأثير فان مركز ثقل العربة يرتفع به قليلا او كثيرا لكن متى زال المانع وهبطت عجلات العربة بعد الصعود فان اليايات الرافعة لصندوقها او وسقها تعيد مركز ثقلها الى ارتفاعه الاصلي بالنسبة الى العجلات

فعلى ذلك يعرض بواسطة تأثير اليايات لمركز ثقل العربات تحركات قليلة السرعة والمدة الى اعلى والى اسفل ويكون هذا التأثير ظاهرا جدا اذا قوبل بين رجات عربتين احداهما غير معلقة والاخرى معلقة بيايات لاسيما اذا عظمت سرعة العربة المتزايدة وليست فائدة التأثير المذكور مقصورة على مجرد تقليل تعب السياحين بل له فائدة اخرى اعظم من ذلك وهي أنه يقي محصولات الصناعة المنقولة من التحركات السريعة و الاصطدامات التي تضر تلك المنقولات وتبخس بقيمتها فاذا علقنا هذه المحصولات على يايات لاجل نقلها على العربات تحصل من ذلك فائدتان احداهما حفظ تلك المحصولات حفظا تاما والثانية أنه يكفي في نقلها قوة صغيرة جدا وقد اشتهرت هذه القواعد منذ سنوات وجرى عليها العمل فترى بمدينة باريس جملة كبيرة من العربات معلقة على يايات ومعدة لنقل الاشياء السريعة التلف ولازال استعمالها آخذا في الزيادة على مدى الايام لان له فائدتين احداهما نقل الاثقال العظيمة بالخيول المعدة لذلك والثانية منع ضرر ما ينشأ عن نقلها من العوارض

وليس لليايات مجرد هاتين الفائدتين اللتين هما تقليل ما يعطل سير العربات

وتقليل مايعرض لاحمالها من الاصطدامات بل لها ايضا فائدة أخرى وهي
تقليل مايعرض للعربات من الاصطدامات الشديدة اومنعها بالكلية
ثم ان مرونة الحبال تكسبها صلاحية لمقاومة الاصطدامات السريعة وتجعلها
كاليايات كما يشاهد ذلك في الحبال المربوطة من احد طرفيها برأس الصاري
ومن الطرف الآخر بجانب السفينة فاذا هبت الريح على حين غفلة واثرت
في الشراعات بقوة جديدة فان الحبال الموجودة في جهة الهواء تمتد تدريجا
بواسطة تأثير هذه القوة الى النقطة التي تكون فيها المقاومة التدريجية الحاصلة
من الحبال والمضافة الى المقاومة المتزايدة الحاصلة من ثبات السفينة عند ميلها
بتأثير الهواء مكافئة لقوة الهواء الدافعة ثم ان نقصت هذه القوة الدافعة فان
قوة مرونة الحبال تعيد هذه الحبال بالتدريج الى طولها الاصلي واما الصواري
التي لمرونتها تنحني بمجرد مد الحبال فانها تعتدل بواسطة هذه المرونة فيكون كل
من الحبال والصواري قابلا لمقاومة جديدة اذا عاد الهواء الى تأثيره السريع
ومن المهم جدا أن تمد الحبال مدا قويا قبل استعمالها في اسناد الصواري
كالجواغيص والاطراف وذلك لان تلك الحبال في مبدء استعمالها تكون
عرضة للمد كثيرا بواسطة تأثير القوى الجاذبة في الجهة الطولية بدون أن تعود
الى امتدادها الاصلي عند انقطاع تأثير هذه القوى و يلزم من مبدء الامر
أن تمد حتى تبلغ الغاية في المد قبل أن يتحصل من قوة مرونتها ما يقصد منها
مما يمكن الوصول اليه فيما تستعمل لاجله
وقد شاهدت السفينة ذات الكوبرتات الثلاثة المسماة بتجارة باريس حين
انكسرت صواريها العليا بين جزيرة قرسقة وافريقة لرداءة الهوا وقتئذ
وكان منشأ ذلك أن تلك السفينة كانت قريبة عهد بالتطقيم فكانت صواريها
ممسكة بحبال لم تبلغ في المد الحد اللازم بحيث يكون لقوة مرونتها تأثير كتأثير
المقاومة النافعة الكافية
واذا اريد وضع اهوان ثقيلة في جوانب السفينة لترمى منها كل ذات اثقال
عظيمة لزم لاجل تخفيف الاصطدام الحاصل عند رمي الكلة الدافع للهاون على

السفينة دفعاقو بأن يهتم بوضع طبقة كثيفة من الاجسام المرنة على الكورية ليقع عليها بالتدريج تأثير الضغط الحاصل من الهاون فتقى بذلك اخشاب السفينة على اختلاف انواعها من التمزق والتكسر

فاذا وضع سندال على بناء صلب خال عن المرونة فان تأثير الاصطدامات المتوالية الحادثة من الضرب بالمطرقة على السندال يكسر الاحجار الموضوع عليها هذا السندال فى اقرب وقت فان حصل الاهتمام بوضع جسم مرن ككتلة من خشب تحت السندال المذكور فان البناء الحامل لهذه الكتلة لا يلحقه التلف

واذا ضرب الصانع بمطرقة رأسها من [illegible] الحادث من رأس المطرقة يوصل [illegible] لاسيما فى مثل اشغال النحاس والس[illegible]ندى لان ضربات المطرقة فيه تتكرر متتالية على سطوح مرتجة فاذن يلزم الاهتمام بجعل قبضة القضاب اخلط من [illegible] الموضوع فى رأس المطرقة حتى [illegible] تكون شدتها فى مبدء الامر قليلة ثم تمتد شيأ فشيأ وبذلك تأخذ شدتها فى القلة والضعف على التدريج حتى ينتهى امرها الى أن الصانع لا يحس بها الا احساسا هينا

والى هنا تم الجزء الثانى من كتاب كشف رموز السر المصون * فى تطبيق الهندسة على الفنون * على يد مصححه المستنصر بمولاه القوى * الملتجئ اليه تعالى محمد قطة العدوى * بعد مقابلته على اصله مع مترجمه * ومعرب كله * السيد صالح افندى وكان تحرير الفاظه الاصطلاحية * ومعادلاته الجبرية * بمعرفة حضرة محمد افندى بيومى وملاحظة حضرة ناظر قلم الترجمة العلامة رفاعة افندى * حيث كان التعويل فى حل المشكلات عليه * والمرجع فى فك المعضلات اليه * تحت ادارة حضرة مدير المدارس * التى هى فى الديار المصرية من اينع المغارس * سعادة ميرالاى آدهم بيك لا زالت المدارس بانفاسه راقية فى النجاح مراقى الفرقد * رافعة اكف الدعاء لولى النعم وانجاله بدوام السعادة والسودد